

Tiementöntöjen ohjausvaikutukset ja kestoikä

Ville Reihe

Aalto-yliopiston insinöörityeiden
korkeakoulun yhdyskunta- ja ympäristö-
tekniikan laitoksella professori Terhi
Pellisen valvonnassa tehty diplomityö.

Espoo 29.4.2011

Tiivistelmä

AALTO-YLIOPISTO TEKNIKAN KORKEAKOULUT PL 11000, 00076 AALTO http://www.aalto.fi		DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ
Tekijä: Ville Reihe		
Työn nimi: Tiemerkintöjen ohjausvaikutukset ja kestoikä		
Korkeakoulu: Insinööritieteiden korkeakoulu		
Laitos: Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos		
Professori: Tietekniikka	Koodi: Yhd-10	
Työn valvoja: Aalto-yliopisto, prof. Terhi Pellinen		
Työn ohjaajat: Aalto-yliopisto, TkT. Jarkko Valtonen		
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Tiemerkinnät ovat edullinen keino vähentää onnettomuuksia ja ohjata liikennettä. Merkinnät voidaan jakaa toiminnan mukaan kahteen luokkaan: visuaalisiin merkintöihin ja palautetta antaviin merkintöihin. Näiden kahden lisäksi on kehitetty kolmas merkintäluokka yhdistelmämerkinnät, joka yhdistää edelliset.</p> <p>Visuaaliset merkinnät erottuvat tiestä heijastavan valon ja värin avulla. Merkintöjen kuntoa arvioidaan kesän alussa paluuheijastavuusmittauksin. Paluuheijastavuuden käytöstä ei kuitenkaan tunneta. Visuaaliset merkinnät myös kuluvat nopeasti. Palautetta antavat merkinnät ovat Suomessa yleensä tasavälijyrsintämerkintöjä. Niillä on hyvät heräteominaisuudet, mutta jyrsintä vaurioittaa päällysteitä ja herätteenä toimiva melu on myös ympäristöön kohdistuva ongelma.</p> <p>Kesällä 2010 tehtiin paluuheijastavuusmittauksia visuaalisten merkintöjen paluuheijastavuuskäytöksen tunnistamiseksi, katsastettiin jyrsintämerkintöjen kuntoa ongelmien tunnistamiseksi sekä ohjeistuksen kehittämiseksi ja kokeiltiin yhdistelmämerkintöjä, joiden tulisi parantaa visuaalisten merkintöjen kulumisongelmaa ja vähentää palautetta antavien merkintöjen meluongelmaa.</p> <p>Paluuheijastavuusmittauksien tulokset osoittivat, että merkintöjen paluuheijastavuus on korkeimmillaan toukokuun ja kesäkuun vaihteessa ja heinäkuun loppupuoliskolla. Elokuun aikana paluuheijastavuus laskee ja mittaukset kannattaisi tehdä elokuun loppupuolella, koska silloin on paluuheijastavuuden tarve korkeimmillaan.</p> <p>Jyrsintämerkintöjen katselmus osoitti, ettei kunnossa ole suuria ongelmia. Päällysteiden saumat, vanhat päällysteet ja syvät jyrsinnät voivat niitä aiheuttaa. Jyrsintämerkintöjen tekemistä päällysteen saumaan sekä yli kaksi vuotta vanhoihin päällysteisiin tulisi välttää. Jyrsintöjen syvyys ei saisi olla 10 mm suurempi ja matalammat jyrsinnät olisivat parempia merkintöjen kestävyyskannalta.</p> <p>Yhdistelmämerkintäkokeilussa käytettiin jyrsinnan muotona siniaaltoa ja kokeilu osoitti, että siniaallonmuotoinen jyrsintä tuottaa vähemmän melua ympäristöön kuin tasavälijyrsintä, mutta enemmän tärinää, joka on myös voimakas heräte. Yhdistelmämerkinnän tekeminen tulisi ohjeistaa siten, että visuaalinen merkintä ei peittyisi koskaan täysin veden alle.</p>		
Päivämäärä: 29.4.2011	Kieli: Suomi	Sivumäärä: 93+16 liit.
Avainsanat: Tiemerkintä, Paluuheijastavuus, Jyrsintämerkintä, Yhdistelmämerkintä		

Abstract

AALTO UNIVERSITY SCHOOLS OF TECHNOLOGY PO Box 11000, FI-00076 AALTO http://www.aalto.fi		ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS
Author: Ville Reihe		
Title: Tiemerkintöjen ohjausvaikutukset ja kestoikä		
School: School of Engineering		
Department: Civil and Environmental Engineering		
Professorship: Highway Engineering		Code: Yhd-10
Supervisor: Aalto University, prof. Terhi Pellinen		
Instructor(s): Aalto University. Jarkko Valtonen		
<p>Abstract: Implementing road markings enhances road safety with low costs. Markings are divided into two groups: visual road markings and rumble stripes. A third group called combined road markings is a combination of visual marking and rumble stripe.</p> <p>Color and retroreflection are key properties of visual markings. Retroreflection measurements are used to evaluate the condition of road markings, but retroreflection behavior during summer is unknown. Visual markings tend to wear out fast. Widely used and effective milled rumble stripes have noise problems to environment. In addition, milling breaks the asphalt surface and may cause damages.</p> <p>To overcome these problems three field studies were carried out in the summer 2010. These studies were retroreflection study, rumble stripe evaluation and field test of combined road markings.</p> <p>The retroreflection study showed that visual road markings retroreflection reached it's highest value in the end of May, beginning of June and in July. In August retroreflection declined. However, because of longer nights, the need for the retroreflection is higher in August. These are the reasons why retroreflection should be measured in August.</p> <p>The rumble stripe evaluation showed that there is no huge condition problem. Sources for the problems were as follows: joints and age of asphalt and milling depth. Milled rumble stripes should not be implemented in asphalt aged over two years. Milling the joint should be avoided. Also milling depth should not exceed 10 mm.</p> <p>Combination of continuous rumble stripe milled in sinus wave shape and white visual mass marking on top were tested on two roads. Test results showed that continuous sinus wave shaped rumble stripes causes less noise to the environment compared to mainly used cylinder shaped milled rumble stripes. Although noise was reduced also inside the vehicle, vibration was stronger. Vibration is also effective in awaking drowsy drivers. Combined markings should be made so that rain water would never cover visual marking.</p>		
Date: 29.4.2011	Language: Finnish	Number of pages: 93+16 appendix
Keywords: Roadmarking, Retroreflection, Rumble stripe		

Alkusanat

Idea diplomityöstä oli syntynyt PANK RY:n Tiemerkintävaliokunnassa ja yhtenä kauniina päivänä Jarkko Valtonen tuli käytävällä vastaan ja ehdotti diplomityötä tiemerkintöihin liittyen ja olinkin heti kiinnostunut. Siitä hetkestä eteenpäin työtä tarkennettiin ja saatiin aikaan mielestäni kiinnostava ja kattava paketti tiemerkintöihin liittyen.

Työtä aloittaessani tiemerkintäala oli minulle suhteellisen uusi ympäristö ja pääsinkin oppimaan paljon uusia asioita. Onnekseni työtäni ohjaamaan oli monta halukasta PANK RY:n tiemerkintävaliokunnan jäsentä ja näin sain tuekseni kokeneen ohjausryhmän. Ryhmään kuuluivat Aalto-yliopistosta TkT Jarkko Valtonen, Cleanosol Oy:stä DI Anders Nordström, Liikennevirastosta FT Mikko Räsänen ja Rejlers Oy:stä DI Antero Arola ja heitä kaikkia haluankin nyt kiittää kuten myös Professori Terhi Pellistä, joka antoi työlle viimeisen silauksen. Lisäksi haluan kiittää kaikkia, jotka ”likasivat käsiään” työn takia.

Sitten vielä ne erityiskiitokset kuuluvat Sinille, äidille, isälle, Hannalle ja Juholle. Kiitos teille kaikesta opiskelujeni aikana antamastanne tuesta. Oli hienoa, että jaksoitte kaikki nämä yhdeksän vuotta kuunnella opiskelijan ongelmia.

Ville Reihe

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	2
Abstract	2
Alkusanat	4
Sisällysluettelo	5
Kuvaluettelo	7
Taulukkoluuettelo	9
Termit ja käsitteet	10
1 Johdanto	12
1.1 Taustaa	12
1.2 Työn tavoitteet	13
1.3 Työn rakenne	15
2 Kirjallisuustutkimus	17
2.1 Visuaaliset merkinnät	17
2.1.1 Tiemerkintöjen kunnon arviointi	20
2.1.2 Tiemerkintöjen uusimistarve	22
2.2 Palautetta antavat merkinnät	23
2.2.1 Tärinämerkintöjen ominaisuudet	27
2.2.2 Jyrsintämerkintöjen kunto	32
2.3 Tiemerkintöjen yhdistäminen jyrsintään - Yhdistelmämerkinnät	36
3 Tiemerkintöjen paluuheijastavuuden kenttätutkimukset	38
3.1 Tavoitteet	38
3.2 Tutkimusmenetelmät	38
3.2.1 Pistekohtaiset paluuheijastavuusmittaukset	38
3.2.2 Jatkuva paluuheijastavuusmittaus	42
3.3 Tulokset	43
3.3.1 Pistekohtaiset paluuheijastavuusmittaukset	43
3.3.2 Jatkuva paluuheijastavuusmittaus	45
3.4 Tulosten analysointi	46
4 Jyrsittyjen merkintöjen kuntokatselmus	48
4.1 Tavoitteet	48
4.2 Tutkimusmenetelmät	48
4.3 Tulokset	51
4.4 Tulosten analysointi	54
5 Yhdistelmämerkintäkokeilu	58
5.1 Tavoitteet	58
5.2 Tutkimusmenetelmät	58
5.2.1 Melumittaukset	59
5.2.2 Tärinämittaukset	63

5.2.3	Paluuheijastavuusmittaukset	64
5.3	Tulokset.....	67
5.3.1	Melumittaukset	67
5.3.2	Tärinämittaukset	74
5.3.3	Paluuheijastavuusmittaukset	78
5.4	Tulosten analysointi	80
6	Päätelmät ja suositukset	82
6.1	Tiementöiden paluuheijastavuuden kenttätutkimukset	82
6.2	Järsittyjen emkintöjen kuntokatselmus	83
6.3	Yhdistelmämerkintäkokeilu	84
7	Yhteenveto	87
8	Lähteet.....	91
9	Liitteet	95

Kuvaluettelo

Kuva 1 Diplomityön sisältö	16
Kuva 2 Maalimerkintä (kuva: Jarmo Vainio)	18
Kuva 3 Sileä massamerkintä (kuva: Vainio)	18
Kuva 4 Maalimerkinnän tekoa (kuva: Vainio)	19
Kuva 5 Paluuheijastavuuden pistemäinen mittaus.....	22
Kuva 6 Tärisevä tasavälijyrsintämerkintä pientareella	24
Kuva 7 Tärisevä tasavälijyrsintämerkintä keskilinjassa	25
Kuva 8 Jyrsintämerkinnän tekoa tienreunaan (Kuva: Vainio).....	26
Kuva 9 Jyrään kiinnitettävä profilipyörä (Kuva: Vainio)	27
Kuva 10 Jyrällä painettu tärinämerkintä (Kuva: Vainio).....	30
Kuva 11 Vanhaa Kamflex- merkintää ja jyrsintämerkintää vierekkäin.....	30
Kuva 12 Longflex merkintä (Tiehallinto 2005c)	31
Kuva 13 Drop-On Line merkintä siniaallonmuotoisessa jyrsinnässä	31
Kuva 14 Asfalttivaurioita 7 vuotta vanhassa päällysteessä valtatiellä 25.....	32
Kuva 15 Oulun seudulla tehdyn inventointitutkimuksen tulokset jyrsittyjen merkintöjen kunnon osalta (Oulun seudun ammattikorkeakoulu 2010)	33
Kuva 16 Hajonnut siniaallonmuotoinen jyrsintämerkintä Tanskassa (Trafik & Veje 2010)	35
Kuva 17 Pistekohtaisen paluuheijastavuusmittauksen kohteet.....	40
Kuva 18 Mx 30 Paluuheijastavuusmittauslaite	41
Kuva 19 Jatkuvan paluuheijastavuusmittauksen kohteet Kaakkois-Suomessa	42
Kuva 20 Jatkuvan paluuheijastavuusmittauksen kohteet Varsinais-Suomessa	43
Kuva 21 Uudellamaalla tehtyjen pistemäisten paluuheijastavuusmittausten tulokset...44	
Kuva 22 Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen alueella tehtyjen paluuheijastavuusmittausten tulokset.....	46
Kuva 23 Varsinais-Suomen ELY-keskuksen alueella tehtyjen paluuheijastavuusmittausten tulokset.....	46
Kuva 24 Jyrsintämerkintöjen kuntoluokkien osuudet.....	51
Kuva 25 Jyrsintäsyvyyden vaikutus kuntoarvoon koko aineiston mukaan	55
Kuva 26 Päällysteen iän vaikutus jyrsintämerkintöjen vaurioitumiseen	56
Kuva 27 Päällysteen iän vaikutus jyrsintämerkintöjen kuntoon.....	56
Kuva 28 Saumaan tehty jyrsintämerkintä päällysteen uusimisen jälkeen Vt 3:llä	57
Kuva 29 Tasavälijyrsintämerkinnän profiili	59
Kuva 30 Siniaallonmuotoisen jyrsintämerkinnän profiili	59
Kuva 31 Ohiajomelumittauksessa käytetty Ford Mondeo.....	60
Kuva 32 Ohiajomelumittauksessa käytetty Scania	61
Kuva 33 Ohiajomelumittauslaitteistoa valtatiellä 24	61
Kuva 34 Ohiajomelumittausasetelma	62
Kuva 35 Tärinämittauslaitteistoa, anturit ympyröity punaisella.....	64
Kuva 36 Märkäpaluumittauksen valmistelua.....	65
Kuva 37 Märkäpaluuheijastavuuden mittauslaitteistoa	65
Kuva 38 Havainnekuva eri mittaustilanteista	67
Kuva 39 Ohiajomelumittauksen tulokset kuorma-autolla	68
Kuva 40 Tuloksista lasketut melumäärän muutokset kuorma-autolla.....	69
Kuva 41 Ohiajomelumittauksen tulokset henkilöautolla.....	70
Kuva 42 Ohiajomelumittauksen tuloksista lasketut melumäärän muutokset henkilöautolla.....	71

Kuva 43 Ohiajomelumittauksen tulokset valtatiellä 24	72
Kuva 44 Melun lisäykset valtatiellä 24.....	72
Kuva 45 Sisämelumittauksen tulokset.....	73
Kuva 46 Mittauksien mukainen sisätilamelun lisäys.....	74
Kuva 47 Ajoneuvon korista mitattu tärinä.....	75
Kuva 48 Päällysteen ja herätemerkintöjen tärinän ero ajoneuvon korista mitattuna.....	76
Kuva 49 Ajoneuvon kojetaulussa mitattu tärinä.....	77
Kuva 50 Päällysteen ja herätemerkintöjen tärinän ero ajoneuvon kojetaulusta mitattuna	78
Kuva 51 Sauman paikkaus on peittänyt jysintämerkinnän Kehä II:lla (st 102)	84

Taulukkoluetelo

Taulukko 1 Käytetyt tiemerkinnot	17
Taulukko 2 Yhdistelmämerkinnöissä käytettävät merkinnot.....	36
Taulukko 3	39
Taulukko 4 Kuntoarvon ja paluuheijastavuuden vastaavuus.....	45
Taulukko 5 Vaurioluokat	48
Taulukko 6 Regressioanalyysissä käytetyt muuttujat	50
Taulukko 7 Kuntoarvot jyrshintävuoden mukaan.....	52
Taulukko 8 Kuntoarvot jyrshintäsyvyyden mukaan	52
Taulukko 9 Kuntoarvot jyrshintän leveyden mukaan	52
Taulukko 10 Kuntoarvot jyrshintämerkinnän sijainnin mukaan	52
Taulukko 11 Kuntoarvot eri päällysteillä (keskilinjalla)	52
Taulukko 12 Kuntoarvot eri-ikäisillä päällysteillä (keskilinjalla)	53
Taulukko 13 Kuntoarvot päällysteen eri maksimiraekooilla (keskilinjalla).....	53
Taulukko 14 Keskilinjan jyrshintämerkintöjen vauriovertailu Tiehallinnon maastoinventointiin.....	53
Taulukko 15 Reunalinjan jyrshintämerkintöjen vauriovertailu Tiehallinnon maastoinventointiin.....	54
Taulukko 16 Kokeilukohteen paluuheijastavuusmittaukset	66
Taulukko 17 Ohiajomelumittausten tulokset valtatiellä 9	69
Taulukko 18 Sisämelumittauksen tulokset	73
Taulukko 19 Mitatut kuiva- ja märkäpaluuheijastavuudet kohteiden mukaan.....	79
Taulukko 20 Kuiva- ja märkäpaluuheijastavuudet merkinnöittäin.....	79
Taulukko 21 Sivukaltevuuden vaikutus paluuheijastavuuteen	79

Termit ja käsitteet

Palautetta antava merkintä

Tällainen merkintä tuottaa herätteen merkinnän ylittävään ajoneuvoon joko meluna, tärinänä tai molempina. Palautetta antavia merkintöjä ovat jyrsimällä tai painamalla päällysteeseen tehdyt merkinnät sekä erilaiset profiloidut merkinnät.

Paluuheijastavuus

Paluuheijastavuudella tarkoitetaan tiemerkinnän kykyä heijastaa ajovalo takaisin kuljettajalle. Paluuheijastavuutta käytetään esimerkiksi mitattaessa tiemerkintöjen kuntoa.

Profiloitu merkintä

Profiloitu merkintä on massasta tai maalista valmistettu tiemerkintä, jonka pinta on muotoiltu, jotta merkintä tuottaisi myös melua ja sillä olisi paremmat märkänäkyvyysominaisuudet. Profiloitu merkintä on visuaalinen merkintä.

Sileä merkintä

Sileällä merkinnällä tarkoitetaan massasta tai maalista valmistettua tiemerkintää, joka on muotoilematon ja pinnaltaan sileä. Sileä merkintä on Suomessa yleisin visuaalinen merkintä.

Siniaallonmuotoinen jyrsimämerkintä

Tämä merkintä tehdään jyrsimällä pystysuunnassa siniaallonmuotoinen jatkuva pinta. Merkintä on palautetta antava.

Tasavälijyrsimämerkintä

Tasavälijyrsimämerkintä on nykyisin Suomessa yleisin palautetta antava tiemerkintä. Merkintää tehdään jyrsimällä päällystettä tietyin välein.

Tiemerkintöjen kuntoluokitus

Kuntoluokitusta käytetään vanhojen tiemerkintöjen kunnon silmämääräiseen arvioimiseen. Arvioinnissa käytetään 5-luokkaista asteikkoa. Arvioinnin tuloksena saatu kuntoarvo on sama kuin merkinnän luokka.

Visuaalinen tiemerkintä

Visuaalinen tiemerkintä on valkoinen tai keltainen. Päivällä näkyvyys saavutetaan värillä ja yöllä paluuheijastavuudella.

Yhdistelmämerkintä

Yhdistelmämerkintä on jyrstyn pinnan ja visuaalisen merkinnän yhdistelmä, jossa visuaalinen merkintä tehdään jrsinnän päälle. Jrsitty pinta voi olla joko tasasyvä tai muotoiltu esimerkiksi siniaaltomuotoon ja visuaalinen merkintä voi olla joko sileä tai profiloitu merkintä. Yhdistelmämerkinnän tulee näkyä ja aiheuttaa herätevaikutus.

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Vuosina 2004-2009 kohtaamis- ja suistumisonnettomuuksissa kuoli vuosittain noin 200 henkeä. Nämä onnettomuudet käsittivät noin puolet kaikista kuolemaan johtaneista liikenneonnettomuuksista (Tilastokeskus 2009). Eräs keskeinen keino vähentää näitä onnettomuuksia on liikenteenohjaus, johon kuuluvat myös tiemerkinnät. Tiemerkintöjen osuus tienpidon kustannuksista oli Suomessa 16 M€ vuonna 2010. Ruotsissa ja Norjassa vastaavat luvut ovat noin 30 – 40 M€. Kuten muutoinkin, niin myös tiemerkintöjen kunnostuksessa säästetään, jotta rajalliset resurssit voitaisiin ohjata muihin tärkeisiin yhteiskunnallisiin kohteisiin.

Tiemerkintöjen merkitys liikenneturvallisuuteen on jatkuvasti kasvussa. Esimerkiksi Hollannissa käyttäjää ohjaavien teiden (SER - Self explaining road) yksi keskeinen periaatetta tukeva ominaisuus on tien pituussuuntaiset tiemerkinnät. Käyttäjää ohjaava tie antaa käyttäjän vaistomaisesti ymmärtää, minkälaista käyttäytymistä häneltä tiellä liikkuaan edellytetään. Tällainen tie vähentää virheiden riskiä liikenteessä. Käyttäjää ohjaava tie on jo monissa Euroopan maissa kuten Tanskassa ja Saksassa käytössä suunnittelua ohjaavana periaatteena ja Suomessakin ollaan kiinnostuneita periaatteen mahdollisuuksista. (Tiehallinto 2007c)

Toinen esimerkki on kaistavahtien (Lane Departure Warning System LDW) yleistyminen. Ruotsissa on tutkittu Volvon kaistavahtijärjestelmän toimintaa ja tutkimuksen mukaan järjestelmä toimi hyvin, mutta toimintaa voisi parantaa tiemerkintöjä kehittämällä. (VTI 2010)

Tiemerkinnät voidaan jakaa kahteen luokkaan; visuaalisiin tiemerkintöihin sekä palautetta antaviin tiemerkintöihin. Visuaaliset tiemerkinnät, kuten maali- ja massamerkinnot, näyttävät missä kaistat ja tie kulkevat, osoittavat missä kohdassa tiellä on turvallista ohittaa ja erottavat vastakkaiset ajosuunnat toisistaan. Palautetta antavat merkinnot, kuten jyrskityt, painetut ja profiloidut merkinnot, havahduttavat kaistalta pois ajautuvan kuljettajan tärinällä sekä melulla ja ohjaavat näin kuljettajaa. Näistä kahdesta merkintätavasta on yhdistämällä mahdollista tehdä kolmas merkintätyyppi yhdistelmämerkintä, jota on jo kokeiltu Norjassa ja Tanskassa hyvin tuloksin (Vejdirektoratet 2007 & Statens vegvesen 2010).

Liikennevirasto ohjeistaa tiemerkintöjen tekoa. Ohjeistuksella määritetään miten ja milloin tiemerkintöjä tulee käyttää. Tien leveys, geometria ja liikennemäärä määrittävät käytettävät tiemerkinnät. Kapeilla ja vähäliikenteisillä teillä käytetään vain reunaviivoja. Moottori- ja moottoriliikenneteillä käytetään usein leveämpiä tiemerkintöjä kuin yleensä. Myös erikoistapauksissa kuten esimerkiksi bussikaistoilla käytetään leveämpiä merkkintöjä. Ohituskieltoalueella käytetään keltaista yhtenäistä visuaalista merkintää, sulkuviivaa. (Tiehallinto 2004a)

Ohjeistuksessa esitettyjen tiemerkintöjen tulisi olla selkeästi havaittavissa ja siksi visuaalisten merkintöjen tärkein ohjaava ominaisuus on näkyvyys. Näkyvyys saavutetaan päivällä pääosin värin avulla. Jotta merkinnät näkyisivät myös yöllä ja huonoissa oloissa tarpeeksi hyvin, tulee niiden heijastaa valoa. Tarvittava heijastavuus saavutetaan käyttämällä merkintämassoissa lasihelmiä. Profiloituja merkkintöjä, kuten Drop-On Line, on kehitetty, jotta tiemerkintöjen näkyvyys huonoissa oloissa olisi parempi (Teknillinen korkeakoulu 2005). Profiloitua merkinnät voidaan lukea myös palautetta antaviksi, koska ne yleensä tuottavat melua.

Palautetta antavien tiemerkintöjen tärkeimmät ohjaavat ominaisuudet ovat puolestaan tärinän ja melun tuottaminen sekä profiloituilla merkinnöillä näiden lisäksi myös näkyvyys (Teknillinen korkeakoulu 2005).. Tärinällä ja melulla havahdutetaan ajokaistalta ajautuvien ajoneuvojen kuljettajia. Palautetta antavista merkinnöistä jyrskitty tyyppi antaa voimakkaimman melu- ja tärinä-ärsyksen (Teknillinen korkeakoulu 2005).. Suomessa käytettyjä palautetta antavia tiemerkintöjä ovat jyrskityt merkinnät, painetut merkinnät sekä edellä mainitut profiloitua massamerkinnät. Jyrskityt merkinnät ovat yleisimpiä. Tiehallinto on ohjeistanut tärinämerkkintöjen käyttöä, mutta ohjeen piiriin eivät kuulu profiloitua merkinnät. Ohjeistuksessa kerrotaan tarkemmin mihin ja minkälaisia täristäviä merkkintöjä tulisi tehdä joko tien keskilinjaan tai tien reunaan.

1.2 Työn tavoitteet

Tässä työssä tutkimuksen kohteina ovat tiemerkintöjen kestoikä sekä ohjausvaikutukset. Tarkoituksena on tutkia, miten visuaalisten merkintöjen ohjausvaikutusta ja kestoikää voitaisiin parantaa tiemerkintöjen kunnon arviointia kehittämällä. Lisäksi tavoitteena on selvittää jyrskintämerkkintöjen kuntokatselmuksella, miten jyrskintämerkkintöjen ja päällysteiden ominaisuudet vaikuttavat

jyrsintämerkkintöjen kestoikään. Kolmantena tavoitteena on tutkia yhdistelmämerkinnän ohjausvaikutuksia ja saada kokemuksia koekohteiden avulla näistä vaikutuksista Suomen oloissa.

Tutkimuksen ensimmäisen tavoitteen osalta tutkimuskohteina ovat visuaaliset merkinnät. Visuaaliset merkinnät ovat tiemerkinnoista käytetyimpiä, mutta niiden ongelmana on kuluminen. Yli ajavan liikenteen sekä teiden talvihoitotoimenpiteiden takia merkinnät kuluvat ja menettävät siten näkyvyytensä. Varsinkin profiloidut, märällä paremmin näkyvät merkinnät, kuluvat ja vaurioituvat helposti auruksen ja höyläyksen takia (Tiehallinto 2000).

Tiemerkintöjä uusitaan pääasiassa keväällä tehtävien paluuheijastavuusmittausten ja kuntoarviointien perusteella (Tiehallinto 2007b). Keväällä tehtävien paluuheijastavuusmittauksien luotettavuuteen liittyy kuitenkin ongelmia, koska tiet ovat talven jäljiltä vielä hiekkaisia ja pölyisiä, mikä puolestaan vaikuttaa paluuheijastavuuteen. Jos paluuheijastavuustulokset ovat virheellisiä, saattavat myös kunnostusinvestoinnit olla virheellisiä. Koska kunnostukseen kohdennetut määrärahat ovat rajalliset, on virheellinen kunnostusinvestointi väistämättä pois jostakin muusta kohteesta. Tutkimuksen kolmannessa luvussa tarkoituksena onkin selvittää, miten paluuheijastavuus muuttuu kesän aikana. Tämä toteutettiin mittaamalla paluuheijastavuutta kolmella eri reitillä seitsemästä kymmeneen kertaan.

Kuntoarviointi on toinen keino selvittää tiemerkkintöjen uusimistarve. Se tehdään silmämääräisesti ja sillä arvioidaan kuinka ehjää tiemerkkintä on. Silmämääräinen kuntoarvion tulos on hyvinkin riippuvainen arvioijasta ja siksi sen käytöstä poistaminen voisi olla yksi tapa säästää kunnossapidossa. Näiden syiden takia halutaan tietää onko kuntoarvolla ja paluuheijastavuudella korrelaatiota. Tässä tutkimuksessa testattiin kuntoarvon ja koneella mitatun paluuheijastavuuden arvon korrelaatio paluuheijastavuusmittauksien yhteydessä tehtyjen kuntoarviointien perusteella.

Toisena kohteena ovat palautetta antavat merkinnät ja niiden kestoikä. Jyrsintämerkkintöjen ja päällysteiden ominaisuuksien vaikutusta jyrsintämerkkintöjen kestoikään tutkitaan tässä työssä, koska Tiehallinnon vuonna 2007 julkaisemassa maastoinventoinnissa nousi esille mahdollinen ongelma jyrsittyjen ja painettujen merkintöjen kunnosta (Tiehallinto 2007a). Jyrsintäjälki rikkoo päällysteen pinnan

(Teknillinen korkeakoulu 2005). Joissakin tapauksissa päällyste on merkintöjen tekemisen jälkeen vaurioitunut nopeasti (Tiehallinto 2007a).

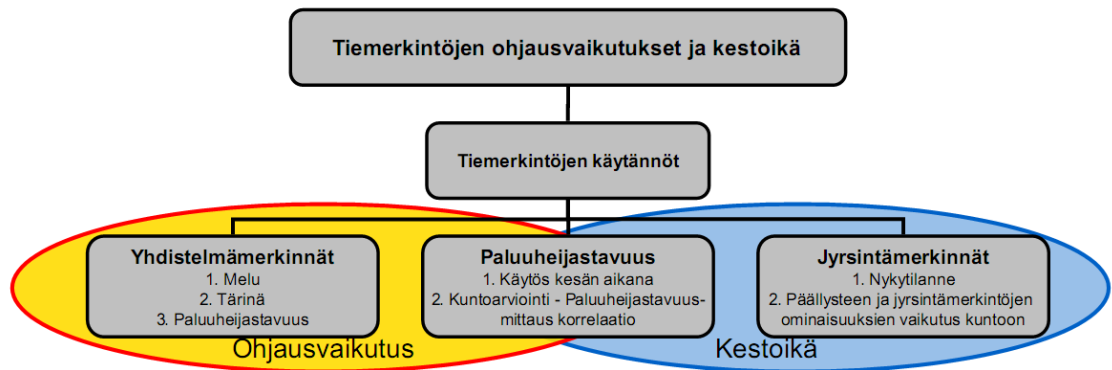
Täristävien merkintöjen jysintä ei kuitenkaan saisi johtaa päällystysajankohdan aikaistumiseen, päällysteen kunnan heikentymiseen tai varsinkaan jysintämerkintöjen kunnan heikentymiseen, koska jysintämerkinnät ovat yleisin palautetta antava merkintätyyppi Suomessa ja palautetta antavien tiemerkintöjen arvioidaan vähentävän kuolemaan johtavia onnettomuuksia 5 - 10 % (Tiehallinto 2006a). Tämän työn neljännessä luvussa selvitetään, missä kunnossa jysintämerkinnät ovat ja mitkä ominaisuudet vaikuttavat jysintäjälkien kunnan heikentymiseen. Selvitystä varten tehtiin vuonna 2006 tehtyä vastaava jysintämerkintöjen maastoinventointi.

Kolmannen tavoitteen osalta tutkitaan visuaalisten ja palautetta antavien merkintöjen yhdistämistä. Yhdistelmämerkintäkokeilun tarkoituksena on saada kokemuksia yhdistelmämerkinnöissä käytetyistä jatkuvan siniaallon muotoisen jysintämerkinnän ja siihen tehdyn visuaalisen merkinnän ohjausvaikutuksista. Nykyisin käytössä oleva tasavälijysintämerkintä aiheuttaa ympäristömelua ja siksi sitä ei käytetä lähellä asutusta. Melu on kuitenkin myös herättävä ja siten ohjaava ominaisuus, joten jysintämerkinnän aiheuttama liian pieni melun lisäys ajoneuvon sisälle on myös ongelma. Melua voitaisiin korvata kuitenkin toisella herättävällä ominaisuudella, tärinällä. Jysintämerkintään tehdyn visuaalisen merkinnän ohjaava vaikutus voi olla parempi huonoissa oloissa kuin tasaiseen tienpintaan tehdyn. Lisäksi visuaalinen merkintä olisi suojassa kulutukselta ja vähentäisi kunnossapidon tarvetta (Statens vegvesen 2010). Viidennessä luvussa on tarkoitus selvittää yhdistelmämerkinnän ominaisuuksia tekemällä melu-, tärinä- ja paluuheijastavuusmittauksia koekohteissa.

1.3 Työn rakenne

Tämän työn rakenne koostuu neljästä tutkimuksesta, joiden yhteydet on esitetty kuvassa 1. Kirjallisuustutkimuksessa käytiin läpi tiemerkintöjen nykykäytäntöjä sekä aiheeseen liittyviä ajankohtaisia tutkimustuloksia ja vertailtiin niitä. Kirjallisuustutkimuksen pohjalta tehtiin kolme maastotutkimusta, joiden tarkoituksena oli selvittää voidaanko tiemerkintöjen kestoikää pidentää ja ohjausvaikutusta parantaa. Ensin selvitettiin visuaalisten merkintöjen paluuheijastavuuskäytös, mikä vaikuttaa niiden kestoikään ja ohjausvaikutukseen. Seuraavaksi käsiteltiin jysintämerkintöjen ja

päällysteen ominaisuuksien vaikutus jyrshintämerkintöjen kestoikään ja viimeisenä selvitettiin yhdistelmämerkinnän ohjausvaikutuksia.



Kuva 1 Diplomityön sisältö

2 Kirjallisuustutkimus

2.1 Visuaaliset merkinnät

Tiemerkinnöillä on selvät tehtävät liikenteen ohjaamisessa. Keskiviivana käytetty valkoinen katkoviiva erottaa vastakkaiset ajosuunnat toisistaan. Katkoviivan pituus vaihtelee nopeusrajoituksien mukaan. Suuremmissa nopeuksissa viivat ovat pidempiä. Sulkuviiva on yhtenäinen ajokaistojen välissä oleva viiva ja se on aina keltainen, kun sillä erotetaan vastakkaiset ajosuunnat. Sulkuviiva kieltää edellä ajavan ohittamisen. Keltainen katkoviiva on varoitusviiva ja se varoittaa alkavasta sulkuviivasta. Ajouradan reunaviiva on yleensä yhtenäinen valkoinen viiva. Myös muille erikoistapauksille kuten esimerkiksi liittymille, bussikaistoille ja sulkualueille on määritetty omat merkinnät. (Tiemerkinnät 2004a)

Tiemerkinnät voidaan jaotella materiaalin mukaan kuuteen ryhmään. Nämä ovat maalit, kuumamassat, kylmämassat, tiemerkintäteipit, esimuotoillut tiemerkinnät sekä heijastavat tiemerkintänastat. Kuten taulukosta 1 nähdään, edellisistä yleisimmin käytettyjä ovat maalit (kuva 2) ja massat (kuva 3). Myös esimuotoiltuja merkintöjä käytetään pienmerkintöjen teossa ja korjaamisessa. Teippejä käytetään vain tilapäismerkinnöissä (Tiehallinto 2007b). Nastoja käytetään tilapäisten kiertoteiden merkitsemisessä erittäin vaativissa kohteissa (Tiehallinto 2006a).

Taulukko 1 Käytetyt tiemerkinnät

Tiemerkinnät				
Palautetta antavat merkinnät			Visuaaliset merkinnät	
Jyrsityt	Painetut	Profiloidut		Sileät
<i>Tasaväli</i>	<i>Jyrä</i>	<i>Kamflex</i>	<i>Longflex</i>	<i>Maali</i>
<i>Siniaalto</i>	<i>Levitin</i>	<i>Drop-On Line</i>	<i>Humflex</i>	<i>Massa</i>



Kuva 2 Maalimerkintä (kuva: Jarmo Vainio)



Kuva 3 Sileä massamerkintä (kuva: Vainio)

Massoihin ja maaleihin voidaan lisätä helmiä ja kitkaa parantavia aineita. Helmiä lisätään paluuheijastavuuden aikaan saamiseksi ja kitkaa parantavia aineita lisätään esimerkiksi suojatien merkintöihin. Niiden tulee olla SFS-EN- standardien mukaisia, kuten kaikkien tiemeraintöjenkin (Tiehallinto 2007b). Maalimerkintöihin lisätään vain pintahelmiä. Massoihin lisätään pintahelmien lisäksi myös Premix-helmiä. Pintahelmet lisätään tiemeraintönnän teon yhteydessä ja Premix-helmet lisätään tiemeraintönnämassan raaka-aineiden sekoitusvaiheessa. Viime aikoina on tullut markkinoille myös märkäpaluuheijastavuutta lisääviä pintahelmiä ja pintahelmielementtejä. Niitä käytetään jo esimerkiksi Ruotsissa moottoriteillä ja niiden kestoikä on noin vuosi. (Vainio 2010)

Tiemeraintönnässä käytettävät maalit ovat nykyään vesiohenteisia. Ennen käytettiin liuotinpohjaisia maaleja, mutta nykyään niiden käyttö on rajattua. Liuotinpohjaiset maalit sisältävät hiilivetyjä ja niitä saa käyttää vain poikkeuksellisissa oloissa.

(Tiehallinto 2006a) Maaleja käytetään vähemmän liikennöidyillä teillä sekä kaduilla ja niiden käyttö vähenee vuosittain. Tiemerkintämassat ovat kestävämpiä merkintöjä kuin maalimerkinnät ja niitä käytetään pääteillä ja vilkkaasti liikennöidyillä väylillä. Massojen käyttö on jatkuvasti lisääntymässä.

Massoista valmistetut tiemerkinnät tehdään koneellisesti joko levitys- tai spray-tekniikalla. Spray-laitteistoa käytetään myös maalimerkinnän tekemisessä koneellisesti kuten kuvassa 4. Levittämällä tehdyt massamerkinnät ovat yleensä sileäpintaisia ja spray-tekniikalla tehdyt massamerkinnät karheapintaisia. Tiemerkintämaaleja ja -massoja voidaan levittää myös käsin. Käsin tehdään yleensä suojatiet, ajokaistanuolet, pysäytysviivat, pysäköintiviivat, erilaiset symbolit ja tekstit. Tien pituussuuntaiset merkinnät valmistetaan koneellisesti. Niitä ovat viivamaiset pitkät tiemerkinnät kuten keski- ja reunaviivat.



Kuva 4 Maalimerkinnän tekoa (kuva: Vainio)

Tiemerkintöjä tehdään mieluiten kesällä, kun on kuiva keli. Tiemerkintöjen teko hankaloituu, kun olot muuttuvat märäksi ja kylmiksi. Aikaisemmin ei tiemerkintöjä saanut tehdä +5 C° lämpötilan alittuessa (Vainio 2010). Nykyään on kuitenkin

huomattu, että muutaman asteen kuiva pakkaskeli on parempi tiemerkintöjen tekemisen kannalta kuin märkä hieman yli 0 °C keli (Vainio 2010). Talvisin tehdään tiemerkintöjä vain pakottavista syistä, esimerkiksi tietyömaille, koska merkinnät eivät tartu märkään alustaan ja vaikka ne saataisiin tarttumaan, eivät ne pysy tyydyttävästi kiinni alustassaan (Valkonen 2010). Urakoitsijat irtisanoutuvat yleensä takuuvélvoitteista, jos kelit ovat kovin kylmät ja märät. Urakoitsijat yrittävätkin lopettaa työkauden lokakuun puolessa välissä (PANK 2010). Keväällä merkintöjen tekemistä rajoittaa tiepöly (Vainio 2010).

Tiemerkinnät voivat olla myös profiloituja eli muotoiltuja. Muotoilulla pyritään parantamaan merkinnän näkyvyyttä ja lisäämään merkinnälle palautetta antava ominaisuus. Palautetta antava ominaisuus on yleensä melun lisäys. Näkyvyyttä parannetaan merkinnän korkeammalla muodolla. Profiloitujen merkinnän toiminta perustuu veden valumiseen pois merkinnän päältä ja siksi paksumpi merkintä toimii paremmin kuin ohut. Samalla paksumpi merkintä on myös alttiimpi vaurioitumiselle (Tiehallinto 2000). Erilaisia Suomessa käytettyjä profiloituja merkintöjä ovat Kamflex ja Drop-On Line.

2.1.1 Tiemerkintöjen kunnon arviointi

Tiemerkintöjen kuntoa arvioidaan silmämääräisesti ja paluuheijastavuusmittauksin. Silmämääräisesti arvioidaan merkinnän kulumista, väriä ja puhtautta sekä määritetään näiden perusteella merkinnöille kuntoarvo. Kuntoarvon määrittämisessä mittayksikkönä käytetäänkin merkinnän peittoprosenttia. Tiemerkintä voi muuttua kulumisen johdosta katkonaiseksi tai kapeammaksi ja näin merkinnän pinta-ala ja peittoprosentti pienenevät. Peittoprosenttien mukaan merkinnät jaetaan viiteen (1-5) kuntoarvoluokkaan. (Tiehallinto 2004b) Merkintöjen täytyy täyttää vaatimukset kuntoarvojen osalta, muuten merkinnät joudutaan uusimaan.

Tiemerkintöjen paluuheijastavuudella tarkoitetaan tiemerkinnän kykyä heijastaa ajoneuvon lampuista lähtevää valoa ajoneuvon kuljettajan silmään. Tämä heijastavuus saadaan aikaan tiemerkintään lisättävillä lasihelmillä (SFS 2009). Lasihelmiä on käytetty tiemerkinnöissä jo yli 60 vuoden ajan ja ne ovat käytetyin heijastemateriaali (Tielaitos 1994). Lasihelmien määrää, materiaaleja ja fysikaalisia ominaisuuksia muuttamalla voidaan vaikuttaa tiemerkintämassan paluuheijastavuuteen (Tielaitos 1993). Mitä enemmän on helmiä, sitä parempi on merkinnän paluuheijastavuus yleensä

uutena, mutta liian suurella helmimäärällä paluuheijastavuusarvot laskevat nopeasti (Tielaitos 1993). Nykyään SFS-EN- standardit määrittelevät käytettyjen lasihelmien laadun.

Lasihelmien täytyisi pysyä kiinni merkinnän pinnalla, jotta merkintä heijastaisi valoa. Merkinnän pinnan muodolla on merkitystä lasihelmien pysyvyyteen. Karheassa pinnassa pintahelmi voi pysyä kiinni paremmin kuin sileässä, jos helmi on karhean pinnan painaumakohdassa. Sileästä merkinnästä pintahelmet irtoavat yleensä ensimmäisenä talvena ja siksi karheasta merkinnästä saadaan keväällä hieman parempia paluuheijastavuusarvoja kuin sileästä. Karhea pinta on myös parempi märkäpaluuheijastavuuden kannalta, koska vesi ei valu pois sileän merkinnän pinnalta. (Vainio 2010)

Merkintämassoissa käytetään monia raaka-aineita. Erilaisilla raaka-aineilla saadaan merkinnöille erilaisia ominaisuuksia. Lasihelmien lisäksi myös muilla raaka-aineilla ja niiden osuuksilla on vaikutusta paluuheijastavuuteen. (Vainio 2010)

Nykyisin edellytetään, että urakoitsija teettää paluuheijastavuusmittaukset. Kevät on luontainen ajankohta mittauksille urakoitsijan kannalta, koska tiemerkinnot halutaan tehdä lämpimissä ja kuivissa oloissa kesän aikana. Tilaajan kannalta mittaukset olisi hyvä ajoittaa syksyyn, koska silloin paluuheijastavuuden tarve on suurin ja tiemerkinnot tulisi olla jo tehty. Näin voitaisiin myös varmistaa työn laatu. (Arola 2010)

Paluuheijastavuusmittaus tehdään joko jatkuvana tai pistemäisenä kuten kuvassa 5. Pistemäistä mittauksia käytetään yleensä merkintöjen laadun varmistamisessa. Jatkuva mittaus käytetään puolestaan tiemerkinnoton kunnon arvioinnissa, koska mittaus suoritetaan ajoneuvolla. Ajoneuvolla mitattaessa saadaan mitattua nopeammin suurempi määrä tiemerkinnotia. Suomessa mittauksia suorittaa kaksi eri yhtiötä Road Consulting Oy ja Roadlux Oy joka on nykyään osa Ramboll Finland Oy:tä. Yhtiöillä on erilaiset mittalaitteet.



Kuva 5 Paluuheijastavuuden pistemäinen mittaus

Kuluminen ja muut muutokset ominaisuuksissa tapahtuvat ajan kuluessa ja ympäristötekijät kuten valoisuus ja ilman kosteus suljetaan pois mittauslaitteen kalibroinnilla mittaushetkellä. Kulumisen voidaan siis sijoittaa aikaan ja siksi aikaa voidaan pitää ainoana muuttujana tiemerkintöjen kunnolle. (TRB 2002) Mittauspäivää edeltävien helle- tai sadejaksojen vaikutusta ei kuitenkaan tunneta. (Vainio 2010)

Yhteinen tekijä tiemerkinnän kunnan ja paluuheijastavuuden heikentymiselle on kulumisen. Nastarenkaat ja avaruus kuluttavat tiemerkintöjä ja irrottavat lasihelmiä tiemerkinnän pinnalta. Liikennemäärä, avaruuden määrä ja tien pientareiden leveys vaikuttavat tiemerkinnän kulumisnopeuteen. Piennarleveyden kasvattaminen voi johtaa tiemerkintöjen päällä ajamisen lisääntymiseen (Vainio 2010). Tiemerkintöjen paluuheijastavuuteen on myös hetkellisesti vaikuttavia tekijöitä. Vesisade voi peittää tiemerkinnän pinnan ja siten heijastavuus heikentyy. Siitepöly voi hetkellisesti kesällä liata tiemerkinnän pinnan ja lasihelmet. Teiden suolaus heikentää syksyisin, talvisin ja keväisin tiemerkintöjen paluuheijastavuutta.

2.1.2 Tiemerkintöjen uusimistarve

Tiemerkintöjä uusitaan paluuheijastavuuden heikennyttyä. Kun vanhojen valkoisten tiemerkintöjen paluuheijastavuuden arvo on kuivana alle $100 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ ja keltaisten alle $80 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$, täytyy ne uusia (Tiehallinto 2007b). Keltaisella merkinnällä on alempi vaatimus, koska keltaiseen merkintään ei saada yhtä hyvää paluuheijastavuutta kuin valkoiseen. Keltaisen tiemerkinnän koostumus on erilainen kuin valkoisen ja valkoinen väri lasihelmien taustalla parantaa heijastavuutta (Vainio 2010). Keltainen merkintä näyttää halogeenivalaisimen valossa enemmän valkoiselta kuin keltaiselta (Tielaitos 1994). Jos keltaisella tiemerkinnällä on hyvä paluuheijastavuus, näyttää se yöllä autojen valoissa yleensä valkoiselta (Vainio 2010).

Sään vaikutus on otettu huomioon laatuvaatimuksissa ja märkänä paluuheijastavuusvaatimus on $35 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ molemmilla väreillä (Tiehallinto 2007b). Uusilla tiemerkinnöillä vaatimukset ovat korkeammat, ne on esitetty liitteessä 1. Paluuheijastavuutta mitataan joko pistemäisellä tai jatkuvalla mittausmenetelmällä. Jatkuva mittausmenetelmää kutsutaan myös dynaamiseksi mittausmenetelmäksi. Riippumatta menetelmästä täytyy paluuheijastavuusmittaus-tulosten täyttää pääosin liitteessä 1 vaaditut arvot. Muutoin tiemerkintä täytyy uusaa.

Raja-arvojen tehtävänä on siis varmistaa, että tiemerkinnät havaitaan pimeässä ja huonoissa oloissa. Keskimääräisen näkökyvyn omaavalle ihmiselle on riittävän heijastavuuden todettu olevan $100 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$, jotta merkintä havaittaisiin. Tienkäyttäjien keski-ikä on kasvussa ja vanhentuessa näkökyky heikkenee. Auton tuulilasin puhtaus ja ajoneuvojen lamppujen valaisukyky vaikuttavat myös merkinnän huomaamiseen yöllä. Huono näkö, likainen tuulilasi ja ajoneuvojen huonot valaisimet kasvattavat merkinnän paluuheijastavuuden vaatimustasoa (TRB 1996).

Tiemerkintöjä uusitaan nykyisten ohjeiden mukaan keväällä tehtävien paluuheijastavuusmittausten perusteella. Jos raja-arvot eivät täyty, merkinnät uusitaan vaikka merkintöjen ominaisuudet saattavat kesään mennessä ja sen aikana täyttää vaaditut paluuheijastavuusvaatimukset. Merkinnät voivat puhdistua, mikä aiheuttaisi heijastavuuden paranemisen. (Arola 2010)

Tiemerkintöjen paluuheijastavuuden kehitystä kuvaavissa malleissa, kuten Thamizhasaran et al. mallissa, ei merkintöjen paluuheijastavuus parane talvikauden jälkeen, vaan jatkaa lineaarisesti heikentymistä kulumisen johdosta (TRB 2002 ja TRB 2006). Nykyiset mallit eivät myöskään kerro tarpeeksi tarkasti heijastavuuden käytöksestä talven jälkeen eikä niitä ole tehty Suomen oloihin sopiviksi. Tiemerkintöjen paluuheijastavuuden kehitystä ei siis tunneta.

2.2 Palautetta antavat merkinnät

Suurin osa kuolemaan johtaneista liikenneonnettomuuksista on suistumis- sekä kohtaamisonnettomuuksia. Moottoriteillä suistumisonnettomuudet ovat ylivoimaisesti yleisimpiä ja niissä nukahtaminen on syynä noin puolessa tapauksista (Tiehallinto 2005a). Vuonna 2005 kohtaamisonnettomuudet käsittivät lähes puolet Suomen pääteiden kuolemaan johtavista onnettomuuksista (LVM 2005). Vuoden 2009

liikenneonnettomuustilastojen mukaan 29 % kaikista maanteiden kuolemaan johtaneista onnettomuuksista oli kohtaamisonnettomuuksia (Liikennevirasto 2010).

Palautetta antavat merkinnät vähentävät kohtaamis- ja suistumisonnettomuuksia selvästi. Yhdysvalloissa on tehty useita tutkimuksia tien reunassa olevista profiloiduista merkinnöistä (kuva 6) ja ne osoittavat, että suistumisonnettomuudet vähenevät teillä, joille sellaiset on tehty (TRB 2007a). Pientareille tehdyt palautetta antavat merkinnät vähentävät pohjois-amerikkalaisten tutkimuksien mukaan yksittäisen ajoneuvon tieltä ajautumisonnettomuuksia yli 10 prosenttia ja tien keskilinjalle tehdyt vastaavat merkinnät (kuva 7) vähentävät kohtaamisonnettomuuksia yli 30 prosenttia (TRB 2009). Suomalaisen arvioiden mukaan tärisevillä reuna- ja keskiviivoilla nokkakolarit vähenisivät 10- 20 prosenttia ja ulosajot 5 prosenttia (LVM 2005).



Kuva 6 Tärisevä tasavälilyrisintämerkintä pientareella



Kuva 7 Täristävä tasavälilyrsintämerkitä keskilinjassa

Käsitys liikenneturvallisuuden parantumisesta täristävien viivojen ansiosta on ollut edellytyksenä sille, että täristävät merkinnät ovat saaneet myös suuren yleisön keskuudessa kannatusta osakseen (Tiehallinto 2008). Vuonna 2008 julkaistun kyselytutkimusten mukaan rakenteelliset keinot, kuten esimerkiksi tärinämerkinnät, mielletään paremmaksi keinoksi parantaa liikenneturvallisuutta kuin nopeusrajoitusten alentaminen ja 8 % vastaajista oli välttänyt onnettomuuden täristävien merkintöjen ansiosta (Tiehallinto 2008).

Liikennemäärä vaikuttaa tärinämerkintöjen käyttöön. Tiementarkentöjen toimintalinjat-julkaisussa on kuvattu periaatteet viivojen sijoituksesta liikennemäärän mukaan. Palautetta antavien merkintöjen tekoa tien keskilinjaan suositellaan kaikille teille joiden liikennemäärä ylittää 2000 autoa/d. Tien reunassa suositusraja on korkeampi ja riippuu tien luokasta. Taajama-alueilla palautetta antavia merkintöjä ei käytetä (Tiehallinto 2007a).

Tarkempi ohje, jolla määritetään tärinäraitojen sijainti tiellä, on Pauli Velhonojan kirjoittama Tiehallinnon johtoryhmän muistio vuodelta 2006, jossa on annettu tarkat ohjeet sijainnista ja jysintämerkintöjen tarpeesta eri teillä. Julkaisussa esitetyt mitoitus- ja ohjekuvat ovat liitteissä 2 - 4. Täristävä reunaviiva ohjeistetaan sijoittamaan moottoritiellä ja muilla 2-ajorataisilla teillä siten, että reunaviivan reunan ja tärinäviivan reunan väliin tilaa jää vähintään 30 cm. Kaksikaistaisella tiellä, jolla on leveä piennar, jätetään väliksi 10 cm. Jos kaksikaistaisella tiellä on kapea piennar, tiementarkentä tehdään täristävän viivan päälle. Silloin ei väliä jää ollenkaan. Jos

päällystetty piennar on alle 50 cm leveä, ei merkintää lähtökohtaisesti tehdä. (Tiehallinto 2006b)

Täristävien merkintöjen luokat on yleensä nimetty joko tekotavan tai muodon mukaan. Jyrsityt merkinnät tehdään yleisimmin jyrsimällä päällysteeseen noin 1 cm syvyinen, 20 - 30 cm leveä ja 30 tai 60 cm jaolla oleva jyrsintäjälki (kuva 8) (Tiehallinto 2006b ja Teknillinen korkeakoulu 2005). Painetut merkinnät tehdään yleensä painamalla kuumaan päällysteeseen kapeita uria joko jyrällä (kuva 9) tai levittimeen kiinnitetyllä jyrällä (Teknillinen korkeakoulu 2005). Profiloituja tien pinnasta kohollaan olevia massamerkintöjä on monenlaisia (Teknillinen korkeakoulu 2005).



Kuva 8 Jyrsintämerkinnän tekoa tienreunaan (Kuva: Vainio)



Kuva 9 Jyrrään kiinnitettävä profilipyörä (Kuva: Vainio)

2.2.1 Tärinämerkintöjen ominaisuudet

Melu on tärinämerkintöjen toiminnan kannalta tärkeää, koska merkintöjen tarkoitus on herättää ajoneuvon kuljettaja äänellä ja tärinällä. Merkinnoista aiheutuvan melun ja tärinän täytyisi siis olla tarpeeksi voimakas ajoneuvon sisällä. Yhdysvaltalaisissa tutkimuksissa riittävän herättävyyden rajana käytetään 4 desibelin äänen voimakkuuden kasvua (TRB 2007b). Toisaalta suomalaisessa tutkimuksessa melun voimakkuuden muutos aistitaan, kun se on 2-3 desibeliä tai suurempi (Tiehallinto 2005c). Lisäksi joissain tutkimuksissa väitetään, että melun muutoksen täytyisi olla jopa 8 - 12 dB (Teknillinen korkeakoulu 2005). Nämä erot voivat johtua esimerkiksi siitä, että torkahtanut kuljettaja voi vaatia suuremman herätteen kuin radiota säätävä tai kännykkään puhuva.

Melun muutoksen suuruuden lisäksi melun muutoksen huomaamiseen vaikuttaa melun kesto aika, eli kuinka kauan melutaso on korkeampi kuin normaalisti. Esimerkiksi 2 dB äänitasomuutoksen huomaamiseen tarvitaan noin yhden sekunnin ajan normaalia korkeampaa ääntä. Vastaavasti 4 dB muutos havaitaan alle puolessa sekunnissa. Jyrsinnän leveyden tulisi siis kasvaa nopeusrajoituksen noustessa, jotta kuljettaja altistuisi pitemmän aikaa tärinän ja melun muutokselle. (Teknillinen korkeakoulu 2005)

Melun lisäksi tärinällä on hyvin tärkeä merkitys havahduttamisessa. Tuntoärsyke, jonka tärinä saa aikaan, saa ihmisen reagoimaan nopeimmin (Teknillinen korkeakoulu 2005). Tärinämerkintöjen tuottama tärinä aiheutuu renkaan pystysuorasta liikkeestä tienpintaan nähden. Tutkimuksissa tärinää kuvaa kiihtyvyyden tehollisarvo (m/s^2 tai

mm/s rms). Ihmisen havaintokynnys on noin 0,1 mm/s rms (Oulun yliopisto 2007). Melun ja värinän muutoksen määrällä on suuri merkitys havaittavuuteen. Selvän havainnoitavuuden rajana voidaan pitää 5 m/s^2 (Teknillinen korkeakoulu 2005 ja Tiehallinto 2005b).

Tutkimuksien mukaan siniaallonmuotoinen jysintämerkintä aiheuttaa ajoneuvon sisälle melua hyvinkin vähän verrattuna tasavälijysintämerkintään ja profiloituun Longflex- merkintään, joista ensimmäinen tuottaa hieman enemmän sisämelua kuin jälkimmäinen (Sintef 2010). Muut profiloidut merkinnät ja erilaiset painetut merkinnät aiheuttavat sisämelua huomattavasti vähemmän kuin tasavälijysintämerkintä ja profiloiduista merkinnöistä hiljaisin oli Drop-On Line (Tiehallinto 2005b). Profiloitujen merkintöjen melun lisäykseen vaikuttavat merkinnän paksuus ja kulutus siten, että mitä paksumpi merkintä on, sitä meluisampi se on ja mitä enemmän on kulutusta, sitä hiljaisempi merkintä on (Tiehallinto 2005b).

Jysintämerkintöjen aiheuttaman ajoneuvon sisämelun voimakkuuteen vaikuttavat monet seikat kuten jysinnän dimensiot, ajoneuvojen ominaisuudet ja ajonopeudet. Dimensioista vaikuttavia asioita ovat merkintöjen välinen etäisyys, merkintöjen syvyys ja merkintöjen leveys. Erilaisten ajoneuvojen sisälle melu kantautuu erilailla. Kuorma-autoihin jysintämerkintöjen aiheuttama melun lisäys ei ole yhtä suuri kuin henkilöajoneuvoihin. Ajonopeuden vaikutus sisämelun voimakkuuteen ei ole kovinkaan suuri, mutta kuitenkin vaikuttava. (TRB 2007b)

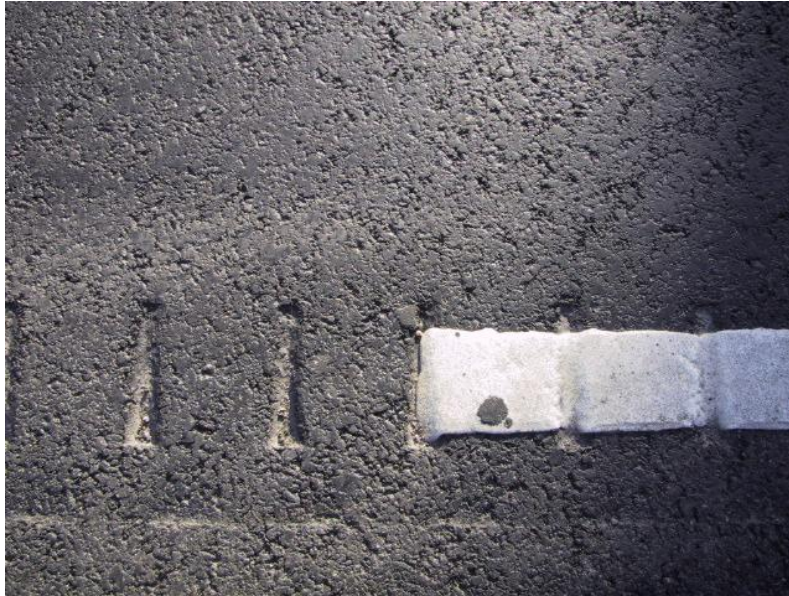
Melua tuottavat merkinnät ovat ongelma. Melu kantautuu ympäristöön eikä melun lisäys miellytä asukkaita. Palautetta antavien erilaisten merkintöjen aiheuttamaa melua on tutkittu melko laajasti Pohjoismaissa. Tutkimuksien tulokset osoittavat, että vanhalla kivimastiksiasfaltilla nopeudella 80 km/h on siniaallonmuotoisen jysintämerkinnän aiheuttama ohiajomelu vähäisempää kuin tasavälijysintämerkinnän ja että tiheämmin tehty tasavälijysintämerkintä aiheuttaa kovempaa ohiajomelua kuin harvemmallä välillä tehty (Vejdirektoratet 2007). Nopeudella 60 km/h siniaallonmuotoisen jysintämerkinnän ohiajomelu on lähes olematonta ja tasavälijysintämerkinnän ohiajomelu on vaimeampaa kuin profiloidun Longflex-merkinnän (Sintef 2010). Tasavälijysintämerkinnän ohiajomelu oli tutkimusten mukaan 80 km/h nopeudella kaikista suurin, seuraavaksi korkein melu mitattiin

painetuilla merkinnöillä ja hiljaisimpia olivat profiloidut merkinnät järjestyksessä meluisimmasta hiljaisimpaan Kamflex, Humflex ja Drop-On Line (Tiehallinto 2005b).

Ohiajomelu mitataan yleensä standardien mukaan 7,5 metrin päästä ohittavan ajoneuvon keskilinjasta, joten ohiajomelu ei välttämättä kuvaa parhaimmalla mahdollisella tavalla ympäristöön kantautuvaa melua. Suomessa on tehty myös tutkimusta tiemerkintöjen vaikutuksesta ympäristömeluun. Ympäristömelu mitattiin 34 m etäisyydeltä sekä 2,6 m korkeudelta tiestä. Tulokset osoittivat, ettei eri merkintöjen välillä ollut suuria eroja. Tulokset ympäristömelun lisäyksistä olivat seuraavanlaiset 80 km/h nopeudella: Painettu 2,5-6 dB, Longflex 0-8,5 dB, Kamflex 4-6 dB, Humflex 2-3 dB ja Jyrsitty 5-7 dB (Tiehallinto 2005c). Suomessa standardin mukaan tehtyjen ohiajomelumittauksien tulokset antavat lisäyksille samansuuruiset arvot eikä mittausetäisyydellä ole vaikutusta melun lisäykseen (Tiehallinto 2005b).

Jyrsintämerkintöjä korvaavia vähemmän melua ympäristöön aiheuttavia tuotteita on myös kehitetty ja tutkittu. Tällaisia muita menetelmiä ovat painetut tärinämerkinnät, profiloidut massamerkinnät ja virtuaaliset tärinämerkinnät. Näistä kolmesta painetut ja profiloidut merkinnät ovat olleet jo käytössä, mutta virtuaalisista merkinnöistä on saatu tutkimustuloksia vasta Ruotsista simulaattorilla tehdyin tutkimuksin. Palautetta antavista merkinnöistä jyrsitty tyyppi antaa voimakkaimman melu- ja tärinä-ärsykkeen (Teknillinen korkeakoulu 2005).

Painetut merkinnät tehdään tien päällystämisen yhteydessä painamalla tietyin välimatkoin viivanmuotoinen kuvio kuumaan päällysteeseen yleensä joko asfalttijyrällä (kuten kuvassa 10) tai asfaltinlevittimellä. Painettuja merkintöjä on tehty 10 ja 15 cm jaolla ja 20 cm levyisenä. Painetut merkinnät lisäävät sisämelun lisäksi ohiajomelua huomattavasti, mikä ei ole toivottua. (Tiehallinto 2005b)



Kuva 10 Jyrällä painettu tärinämerkintä (Kuva: Vainio)

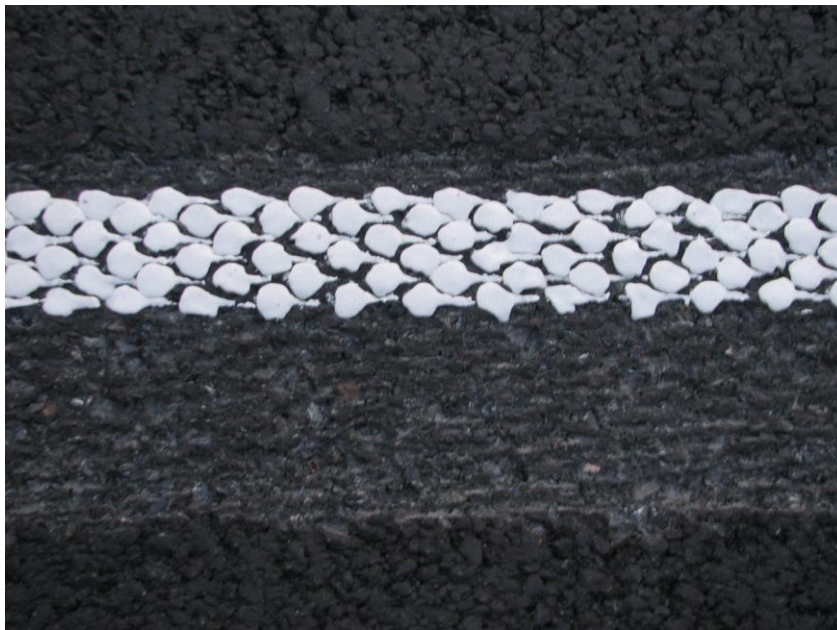
Profiloidut merkinnät tehdään tienpintaan merkintämassalla esimerkiksi kuvissa 11 - 13 esitetyillä Kamflex-, Longflex- ja Drop-On Line-menetelmillä. Kamflex-viiva on uutena noin kolmen vuoden ajan tehokas, mutta sen jälkeen merkintä on kulunut pois talvihoidon ja liikenteen takia. Kuvan 13 Drop-On Line aiheuttaa herättämisen kannalta tarvittavan melun, mutta rakenteensa takia sen kestoikä on arveluttava. (Tiehallinto 2005b)



Kuva 11 Vanhaa Kamflex- merkintää ja jysintämerkintää vierekkäin



Kuva 12 Longflex merkintä (Tiehallinto 2005c)



Kuva 13 Drop-On Line merkintä siniaallonmuotoisessa jysinnässä

Virtuaalisia herätemerkintöjä ei tehdä tiehen, vaan ne perustuvat ajoneuvoissa oleviin tien reunaviivan tunnistus- ja herätelaitteisiin. Tätä laitteistoa kutsutaan usein kaistavahdiksi. Kaistavahtien luotettavuus on myös kyseenalainen. Jos laitteisto antaa turhaan varoituksia tieltä ajautumisesta, kytketään se todennäköisesti usein pois käytöstä ärsyttävyyden takia. Kaistavahti vaatii myös tiemerkinnoilta hyvää kuntoa toimiakseen. Silloin myös tiemerkinnojen kunnon vaatimuksia täytyisi kehittää. Ruotsissa tehdyn tutkimusten mukaan virtuaaliset merkinnät mielletään yhtä hyvin herättäviksi kuin tiehen jysityt merkinnät (VTI 2009). Ympäristöön aiheutuva

melunlisäys olisi myös mitätön, koska melua ja/tai tärinää aiheutetaan ajoneuvon sisälle. Sitä ei tosin ole vielä tutkittu.

2.2.2 Jyrsintämerkintöjen kunto

Täristävät merkinnät ovat suosittu ja huokea tapa lisätä tien turvallisuutta, koska muut suistumis- ja kohtaamisonnettomuuksia vähentävät toimenpiteet, kuten kaiteet ja keskikaiteet, ovat huomattavasti kalliimpia ja koska täristävien merkintöjen toimivuus ja onnettomuuksien vähentämiskyky on eri tutkimuksissa todistettu. Huokeuden myötä on jyrsintämerkintöjä ryhdytty tekemään jopa turhankin usein ajattelematta niiden ja päällysteen yhteisvaikutuksia. Vanha päällyste voi jyrsintämerkinnän takia hajota kuten kuvassa 14 ja näin syntynyt reikä, halkeama tai auennut sauma voi aiheuttaa vaaratilanteita. Lisäksi päällyste voidaan jopa joutua uusimaan aiemmin kuin oli suunniteltu.

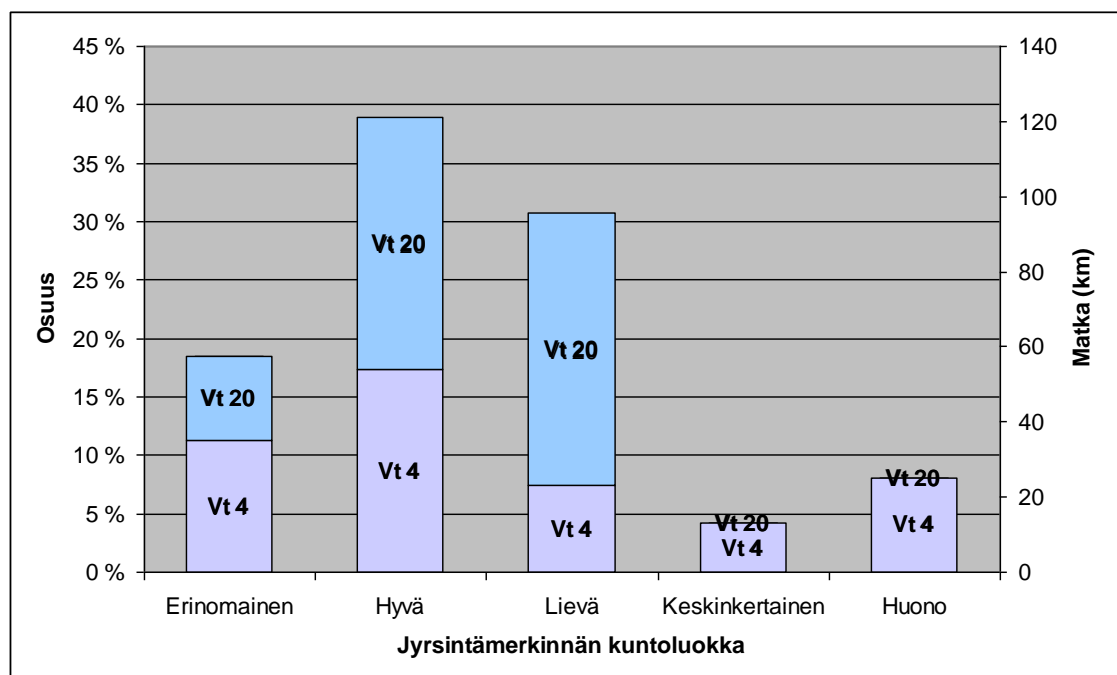


Kuva 14 Asfalttivaurioita 7 vuotta vanhassa päällysteessä valtatiellä 25

Jyrsimällä tehtyjä täristäviä reuna- ja keskiviivoja on Suomessa käytetty vasta vuodesta 2004 (Tiehallinto 2007a). Ne ovat siis suhteellisen uusia merkintätapoja eikä niitä ole tutkittu Suomessa laajalti. Jyrsintämerkintöjen kunnosta on tehty Suomessa maastoinventointi joka julkaistiin vuonna 2007 (Tiehallinto 2007a). Inventoinnissa nousi esille asioita, jotka voisivat vaikuttaa jyritysten merkintöjen kuntoon.

Päällystelaatan paksuus ja jyrinnän syvyys koettiin yhdessä erittäin merkitseviksi merkinnän kunnon kannalta. Päällysteen iän koettiin vaikuttavan merkittävästi merkintöjen kuntoon kuten myös päällystelaatan reunojen eli saumojen sijainnin suhteessa jyrintäjälkeen. Tarkemmat kuntotiedot vuoden 2007 inventoinnista esitetään tämän työn kappaleessa 4.3.

Vuonna 2010 on tutkittu täristävien merkintöjen vaikutusta päällysteen vaurioitumiseen. Tutkimus tehtiin Pohjois-Pohjanmaan ELY- keskuksen alueella. Tutkimukseen kuului osia valtateistä 4 sekä 20 ja niissä oli jyrintämerkintöjä tien reunassa ja keskilinjassa. Tutkimuksessa käytettiin erilaista kunnon arviointimenetelmää kuin Tiehallinnon tutkimuksessa. Arviointi perustui enemmän vaurioiden vakavuuteen, kun taas Tiehallinnon tutkimus perustui esiintymistiheyteen. Kuvassa 15 on esitetty vuoden 2010 tutkimuksen tulokset. Tutkimus osoitti Tiehallinnon tutkimuksen tapaan, että päällysteen iän kasvaessa vauriot lisääntyvät ja pahenevat. (Oulun seudun ammattikorkeakoulu 2010)



Kuva 15 Oulun seudulla tehdyn inventointitutkimuksen tulokset jyräytyjen merkintöjen kunnon osalta (Oulun seudun ammattikorkeakoulu 2010)

Samankaltaista inventointitutkimusta on tehty myös Tanskassa. Tarkoituksena oli tutkia, miten meluraitojen jyräntyä vaikuttaa asfalttipäällysteen kestävyys. Tutkimuksen kohteina olivat vuosina 2007 ja 2009 tien keskelle, molemmin puolin keskilinjaa, valmistetut siniaallonmuotoiset jyräntäraidat, joiden huomattiin talven

2009/2010 aikana vaurioituneen joissakin kohteissa vaarallisen huonoon kuntoon. Vaarallisissa kohteissa asfalttipäällyste oli hajonnut jysintöjen kohdalta, kuten nähdään kuvasta 16. Tutkimuksen mukaan siniaaltoisen jysintämerkinnän tekoa ei suositella tien keskisaumaan tai alueille, joissa täristävien merkintöjen aiheuttamasta melusta ei tule haittaa ympäristöön. Tällaisia alueita ovat esimerkiksi asumattomat, metsän reunustamat tienkohdat. Niihin suositellaan käytettäväksi profiloituja tiemerkeitä. (Trafik & Veje 2010)

Päällystetyypillä ja päällysteen iällä oli inventoinnin mukaan vaikutusta jysintöjen ja päällysteen keston. Jysimen hampailla on taipumus irrottaa tai rikkoa päällysteestä kivirakeita ja näin avautuu rakoja, joista vesi pääsee vaurioittamaan päällystettä. Siksi karkeat ja korkean tyhjätilan omaavat päällysteet ovat alttiita hajoamiselle. Vanhemman päällysteen todettiin myös vaurioituvan helpommin jysinnän vaikutuksesta. Uuteen päällysteeseen tehtyjen jysintämerkintöjen kestävyyttä voitiin parantaa käsittelemällä jysintämerkinnän pintaa siten, ettei se ole avoin ja ettei pinnasta pääse irtoamaan kivirakeita. Jysintäsyvyydellä todettiin olevan vaikutusta. Jos syvyys oli alle edellytetyn 7 mm, oli jysinnän vaikutus kestävyyspieni. (Trafik & Veje 2010)



Kuva 16 Hajonnut siniaallonmuotoinen jysintämerkintä Tanskassa (Trafik & Veje 2010)

Jysintämerkintöjen ongelmana on myös liikenteen ohiajomelutason nousu eikä niitä sen takia voi käyttää taajamissa tai asutuksen läheisyydessä. Jysittyjen täristävien merkintöjen on todettu lisäävän melua ympäristöön jopa 5 dB 100 km/h nopeudessa mutta alle 70 km/h nopeuksissa eivät merkinnät lisää melun määrää kovinkaan paljon (Tiehallinto 2005b). Tasavälinen jysintämerkintä voi aiheuttaa jopa 20 dB melutason nousun joillakin äänen taajuuksilla (Sintef 2010).

Uusia jysintämerkintätyyppejä on kokeiltu hyvin tuloksin muualla ja Suomessakin ollaan kiinnostuneita kokeilemaan uusia merkintätapoja. Tanskassa on kokeiltu siniaallonmuotoista jysintää. Kokemukset ovat olleet positiivisia ja sen aiheuttaman ympäristömelun onkin todettu olevan vähäisempää kuin tasavälijysintämerkinnän aiheuttama melu (Vejdirektoratet 2007). Sinimuotoisen jysintämerkinnän etuna on tutkimusten mukaan se, ettei ohiajomelua synny ympäristöön sen enempää kuin jysimättömällä asfaltilla. Sinijysintä lisää melun voimakkuutta matalilla taajuuksilla,

joille ihminen ei ole niin herkkä. Matalataajuinen melu voi kuitenkin aiheuttaa tärinää ajoneuvon sisällä ja johtaa näin riittävään varoitus- tai herätyssignaaliin kuljettajalle. (Sintef 2010)

2.3 Tiemerkintöjen yhdistäminen jysintään - Yhdistelmämerkinnät

Jotta tiemerkintöjen ikää voitaisiin pidentää, olisi ne hyvä suojata kulumiselta. Suomessa tiemerkintöjä kuluttavat eniten teiden auraaminen ja liikenne. Tiemerkinnät ja varsinkin paksut profiloituneet merkinnät voidaan suojata tekemällä ne jysintäjälkeen. Jysintäpinta voidaan myös muotoilla pystysuunnassa esimerkiksi siniaallonmuotoon, jolloin se aiheuttaa suuremman melun ja tärinän. Profiloitu merkintä jysintäjäljessä on toinen palautetta lisäävä merkintämahdollisuus. Mainitut menetelmät yhdistävät tiemerkinnät ja tärinämerkinnät hieman eri tavalla, mutta samassa tarkoituksessa. Taulukossa 2 on esitetty yhdistelmämerkinnöissä käytettävät merkinnät.

Taulukko 2 Yhdistelmämerkinnöissä käytettävät merkinnät

Tiemerkinnät				
Palautetta antavat merkinnät			Visuaaliset merkinnät	
Jysityt	Painetut	Profiloidut	Sileät	
<i>Tasaväli</i>	<i>Jyrä</i>	<i>Kamflex</i>	<i>Longflex</i>	<i>Maali</i>
<i>Siniaalto</i>	<i>Levitin</i>	<i>Drop-On Line</i>	<i>Humflex</i>	<i>Massa</i>
Jysitty pinta & Visuaalinen merkintä Yhdistelmämerkinnät				

Kokemuksia näistä yhdistelmämerkinnöistä ei vielä Suomessa ole ja hyvin vähän niitä on kokeiltu myös muualla. Tätä työtä varten tehtiin valtatielle 9 Tampereen ja Oriveden väliselle osuudelle 25 kilometriä siniaallonmuotoista jysintämerkintää. Noin puolet koekohteen jysintään tehdyistä visuaalisista merkinnöistä oli sileää merkintää ja puolet profiloitua Drop-On Line-tiemerkintää. Toinen yhdistelmämerkintöjen koekohde oli valtatiellä 24 Asikkalassa. Tässä kohteessa keskilinjaan ja toiseen reunaan oli tehty tasavälijysintämerkintä ja toiseen reunaan yhdistelmämerkintä kuten valtatiellä 9, mutta visuaalinen merkintä oli ainoastaan sileä merkintä.

Heijastavien merkintöjen paluuheijastavuus pysyy pidempään hyvänä, jos merkintä tehdään jysintään. Norjassa kokeiltu, jysintään tehty profiloitu Longflex-merkintä voi kestää jopa 8 vuotta hyvässä kunnossa ja täyttää sekä kuiva- että

märkäpaluuheijastavuusvaatimukset (Statens vegvesen 2010). Lisäksi vuosittaiset merkitäkustannukset metriä kohden voivat jopa puolittua verrattuina sileään merkintään (Statens vegvesen 2010). Yleensä profiloidut merkinnät täytyy uusida jopa kahden vuoden välein kulumisen ja talvihoidon takia. Norjassa on samat vaatimukset paluuheijastavuudelle kuin Suomessa.

Siniaaltoon tehty tavanomainen tiemerkintä on päällysteen pintaan nähden profiloitu ja siniaaltoista jysintää voitaisiinkin kutsua paremmin kuvaavasti profiloituksi tai muotoilluksi jysinnäksi. Tässä tutkimuksessa mitattiin märkäpaluuheijastavuus siniaallonmuotoisessa jysintäjäljessä olevasta tiemerkinnästä. Koska profiloidun tiemerkinnän märkäpaluuheijastavuus on parempi kuin sileän merkinnän, yritettiin tällä kokeella selvittää, olisiko muotoillussa jysintäjäljessä olevan tiemerkinnän märkäpaluuheijastavuus parempi kuin tasaisella tien pinnalla olevan.

Yhdistelmämerkintöjen haittana voi olla visuaalisen merkinnän likaantuminen. Tanskassa on korjattu vaurioitunutta siniaallonmuotoista tärinämerkintää pintaamalla. Jos visuaalista merkintää tehdään siniaallonmuotoiseen jysintämerkintään, ei jysintämerkintää voida korjata pintaamalla ilman, että visuaaliset merkinnät likaantuvat. Jos merkintää korjataan pintaamalla, täytyy jysintämerkintään tehdyt tiemerkinnätkin uusida. Tanskalaiset suosittelevat, että pintausta tehtäisiin jysintämerkintään heti, kun on jysintä ja pintausta pitäisi kunnossapitää toistuvasti. Siksi suositellaan myös, ettei jysintämerkintää tehtäisi kohtaan, mihin tulee tiemerkintä (Trafik & Veje 2010).

3 Tiemerkintöjen paluuheijastavuuden kenttätutkimukset

3.1 Tavoitteet

Tässä työssä oli paluuheijastavuusmittauksilla tavoitteena selvittää tiemerkintöjen keskimääräinen paluuheijastavuusominaisuuksien kehitys talven jälkeen kevään ja kesän aikana. Tuloksia ei eritelty erilaisten merkkintöjen materiaalien tai muiden ominaisuuksien mukaan, vaan työssä selvitettiin Suomen tieverkolla olevien tiemerkintöjen paluuheijastavuuskäytöstä. Tieverkolla on hyvin paljon eri materiaaleista eri tavoilla valmistettuja, eri lasihelmipitoisia ja eri-ikäisiä merkkintöjä.

Tuloksien ja kirjallisuuden avulla tehtiin päätelmiä siitä, milloin olisi optimaalinen aika mitata paluuheijastavuutta ja saadaanko kustannussäästöjä turvallisuudesta tinkimättä, jos paluuheijastavuusarvot mitattaisiinkin vasta kesällä. Tämän lisäksi työssä tutkittiin, korreloivatko tiemerkintöjen uusimis päätöstä tehtäessä kuntoarvokatselmuksien tulokset paluuheijastavuusmittausten tuloksien kanssa.

3.2 Tutkimusmenetelmät

Omien pistekohtaisten paluuheijastavuusmittauksien lisäksi teki RoadConsulting Oy työtä varten jatkuvaa paluuheijastavuuden mittausta. Pistekohtaisten paluuheijastavuusmittauksien reitti sijaitsi Nurmijärvellä, Vihdissä, Lohjalla ja Siuntiossa. Mittaus tehtiin niin, että yksi mittauskerta oli yhden työpäivän mittainen. Jatkovana tehtävän mittauksen reitit sijaitsivat Kaakkois-Suomen- ja Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksien alueilla, Kouvolan ja Porin seuduilla. Pistekohtaisia mittauksia tehtiin seitsemän kertaa Uudellamaalla ja jatkuva paluuheijastavuusmittaus yhdeksän kertaa Varsinais-Suomessa ja kymmenen kertaa Kaakkois-Suomessa kesän aikana.

3.2.1 Pistekohtaiset paluuheijastavuusmittaukset

Tämän tutkimuksen paluuheijastavuusmittausten tarkoituksena oli saada tietoa tiemerkintöjen kuivapaluuheijastavuuden käyttäytymisestä kevään ja kesän aikana. Siksi mittaukset aloitettiin jo 27.4. ja toistettiin noin kolmen viikon välein sään salliessa. Paluuheijastavuusarvot mitattiin jokaisella kerralla samoista pisteistä. Olosuhteiden tuli olla mittausstandardin (SFS-EN 1436 + A1 2009) mukaan kuivat

eikä tiellä saanut olla kosteutta. Viimeinen mittaus suoritettiin 3.9. Mittaukset tehtiin aina kello 8 - 16.

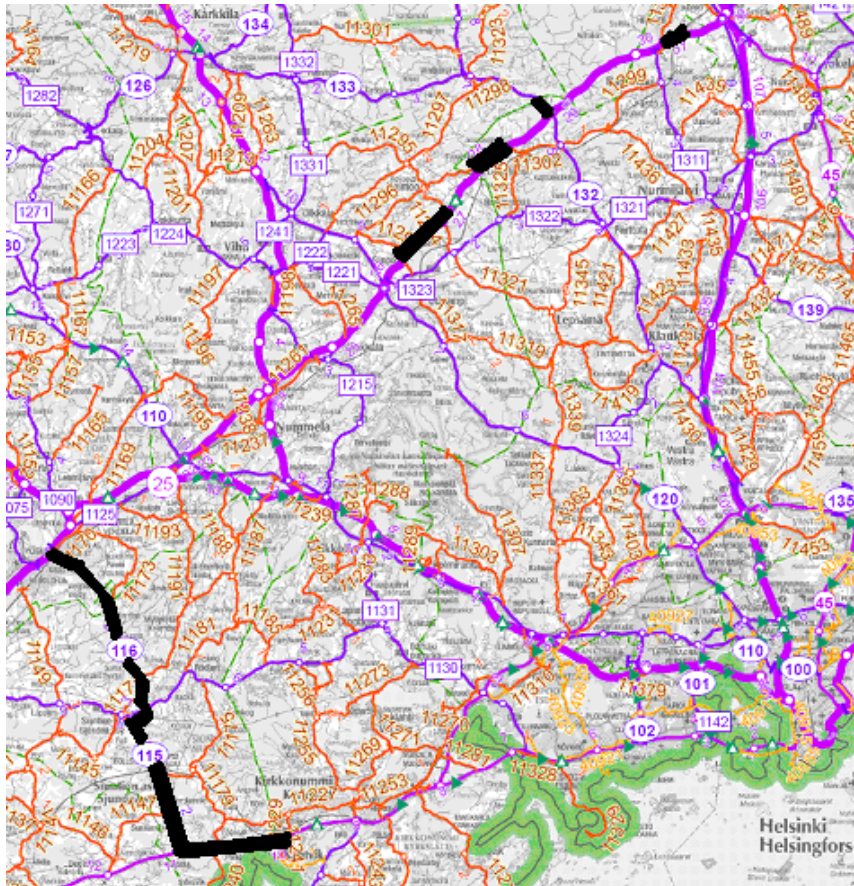
Paluuheijastavuuden ja kuntoluokkien välisen korrelaation selvittämiseksi arvioitiin ensimmäisellä ja toisella kierroksella samoista mittauspisteistä tiemerkintöjen kuntoarvo. Kuntoarvio tehtiin julkaisun Tiemerkintöjen kuntoluokitus mukaan. Julkaisu on Tiehallinnon vuonna 2004 julkaisema.

Kuntoarvojen arvioimiseksi on vuonna 2004 tehdyssä ohjeessa esimerkkikuvat jokaisesta kuntoarvoluokasta. Kuvat selventävät hyvin, mitä vaurioituminen eri kuntoluokissa tarkalleen ottaen tarkoittaa. Ohjeessa tiemerkinnät jaetaan kunnan mukaan viiteen luokkaan (1-5). Kuntoarvon ollessa 1 (huono) tiemerkinnöistä on kulunut pois yli puolet. Kuntoarvon ollessa 2 (välttävä) lähes puolet merkinnöistä on kulunut pois ja/tai peittynyt. Jos noin neljännes on kulunut ja/tai peittynyt on kuntoarvo 3 (tydyttävä). Vähäinen kuluminen tai jos merkintä ei osu vanhan merkinnän päälle antaa kuntoarvon 4 (hyvä) ja kuntoarvon 5 (erittäin hyvä) saavat merkinnät, jotka ovat uudenveroisia. (Tiehallinto 2004b)

Mittaukseen valittiin reitti Uudenmaan ELY- keskuksen alueelta. Reitti (kuva 17) valittiin sen mukaan, että siellä oli mahdollisimman kattavasti eri kunnossa olevia tiemerkintöjä. Alkuperäinen reitti käsitti tiet 115 ja 116 kokonaan ja tieltä 51 osuuden tien 115 liittymästä länteen tien 11229 liittymään asti. Reittiin sisältyi siis eriluokkaisia teitä. Reittiä laajennettiin ensimmäisen mittauksen jälkeen merkintöjen laadun takia. Haluttiin myös tuloksia parempilaatuisista merkinnöistä. Teiltä 25 ja 132 valittiin lisää mitattavia poikkileikkauksia. Taulukossa 3 on esitetty mitatut pistemäärät eri mittausajankohtina.

Taulukko 3

Mittauksen päivämäärä	27.4.2010	19.5.2010	8.6.2010	29.6.2010	22.7.2010	16.8.2010	3.9.2010
Mittauksia	214	244	244	212	152	130	92



Kuva 17 Pistekohtaisen paluuheijastavuusmittauksen kohteet

Ensimmäinen mittauskierros osoitti, että merkintöjen paluuheijastavuusarvot vaihtelivat hyvin paljon. Suurin osa tuloksista oli selvästi alle vaaditun rajan ja kierroksen mittaustulosten keskiarvokin oli n. $70 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ ja mediaani vain $66,5 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$. Vertailun vuoksi mainittakoon vielä, että paljaan asfaltin heijastavuusarvoksi työn aikana mitattiin n. $1 - 18 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ päällysteen iän mukaan. Tulos oli 1 uudella mustalla päällysteellä. Toiselle mittauskierrokselle haluttiin lisää raja-arvot ylittäviä tuloksia. Niinpä työssä päädyttiin jättämään pois joitakin mittauspisteitä, joiden arvot olivat alle $60 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$. Näin mittastyö nopeutui esimerkiksi keskilinjaan osalta vilkkaasti liikennöidyllä tiellä 51. Näiden pisteiden tilalle valittiin uusia, jotka täyttivät raja-arvot. Nämä pisteet sijaitsivat tiemerkinnoilla, jotka oli tehty edellisenä vuotena. Toisen kierroksen mittaustulosten kaikkien pisteiden keskiarvo oli n. $90 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ ja mediaani $83,5 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$. Kolmas mittauskierros tehtiin kuten toinen mittauskierros. Seuraavan kerran mittauspisteiden määrää jouduttiin muuttamaan neljännellä kierroksella. Osa merkinnöistä oli uusittu kolmannen ja neljännen mittauskerran välillä ja näin oli myös tästä eteenpäin kaikkien mittauskierrosten välillä.

Mitattavat poikkileikkaukset valittiin noin kilometrin välein, jotta saataisiin satunnaisesti mahdollisimman kattava otos. Yhteensä poikkileikkauksia mittauksissa oli 36. Jokaisesta poikkileikkauksesta valittiin mittauspisteet reunalinjoista ja keskilinjoista. Sulkuviivojen kohdalla pisteet valittiin molemmista keskiviivoista. Jos kaistoja oli useampia, valittiin pisteet myös kaikista kaistaviivoista. Jokaisesta pisteestä mitattiin paluuheijastavuus tien molempiin suuntiin.

Toistomittaukset tehtiin kolmesta mittauspisteestä. Pisteet valittiin siten, että tiemerkintämassa näytti mittauspisteessä mahdollisimman homogeeniselta mahdollisimman laajalla alueella. Kolme pistettä valittiin, jotta saataisiin arvioitua toistettavuutta kunnoltaan vaihtelevista merkinnöistä. Mittauspisteiden paluuheijastavuusarvot olivat noin 60, 80 ja 100 mcd/m²/lx. Toistomittaus tehtiin kahdella tavalla. Ensin mitattiin samasta pisteestä 10 kertaa paluuheijastavuus. Jokaisen mittauksen välillä laite nostettiin pois merkinnän päältä. Toiseksi mitattiin 10 kertaa noin 1 cm välein mahdollisimman läheltä mittausreitin pistettä.

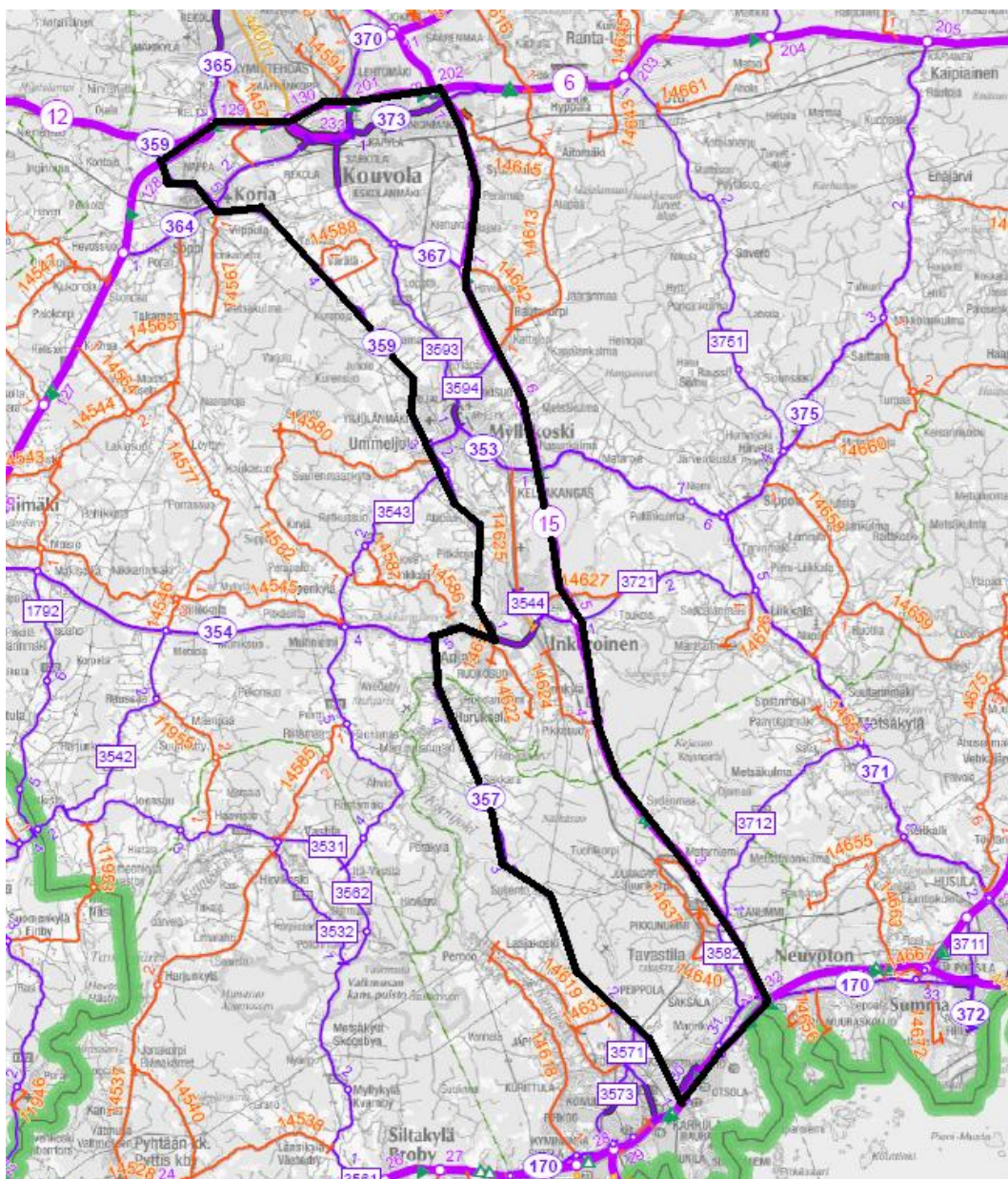
Mittauksessa käytettiin aina kuvassa 18 esitettyä ja Cleanosol Oy:lta lainattua Mx30-mallista mittalaitetta. Mittalaite on hyväksytty Liikenneviraston ohjeissa paluuheijastavuusmittauslaitteeksi (Tiehallinto 2007b). Mittalaite on siis myös standardin SFS-EN 1436 + A1 mukainen. Samaa mittalaitetta käytettiin mitattaessa siniaallonmuotoisen kokeilukohteen ja sen vertailukohteen paluuheijastavuuksia.



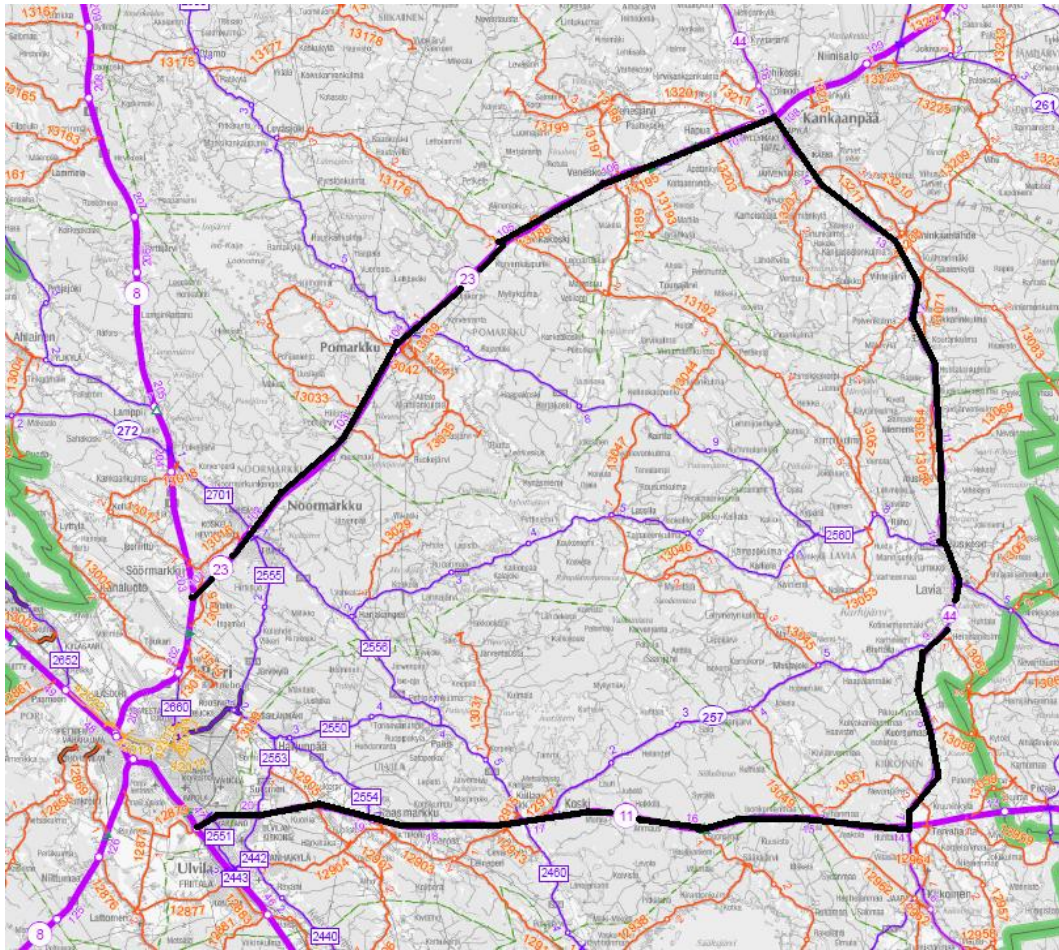
Kuva 18 Mx 30 Paluuheijastavuusmittauslaite

3.2.2 Jatkuva paluuheijastavuusmittaus

Tähän työhön osana kuuluvan jatkuvan paluueijastavuuden mittausreitit valittiin samaan tapaan kuin pistemäisiin mittauksiin valittu reitti. Jatkuvilla mittauksilla yritettiin saada mahdollisimman paljon tuloksia erikuntoisista ja eri-ikäisistä tiemerkinnoista. Mittaukset tehtiin noin kahden tai kolmen viikon välein ja yhteensä yhdeksän kertaa Kouvolan lähistöllä ja kymmenen kertaa Porin lähistöllä. Kouvolassa reittiin kuului osia valtateista 6, 7 ja 15 sekä maanteista 357 ja 359. Porin reittiin kuului osia teistä 11, 23 ja 44. Kuvassa 19 on kartta Kouvolan reitistä ja kuvassa 20 kartta Porin reitistä. Molemmissa mitattiin valkoista reunalinjaa.



Kuva 19 Jatkuvan paluuheijastavuusmittauksen kohteet Kaakkois-Suomessa



Kuva 20 Jatkuvan paluuheijastavuusmittauksen kohteet Varsinais-Suomessa

Mittauksessa käytettiin EcoDyn-mittausautoa. EcoDyn on Ranskassa kehitetty ja valmistettu jatkuvaan mittaamiseen tarkoitettu autoon kiinnitettävä laite. Ecodyn-mittauslaitteen antamat tulokset eivät ole yhtenäiset Mx30:n kanssa. Pistemäisissä mittauksissa käytetty Mx30 on optisesti täysin yhdenmukainen LTL-2000 laitteen kanssa (Tiehallinto 2007b). EcoDyn:in ja LTL-mallisen käsimittauslaitteiden tulosten välinen korrelaatio on noin 0,95 (VTT 1995).

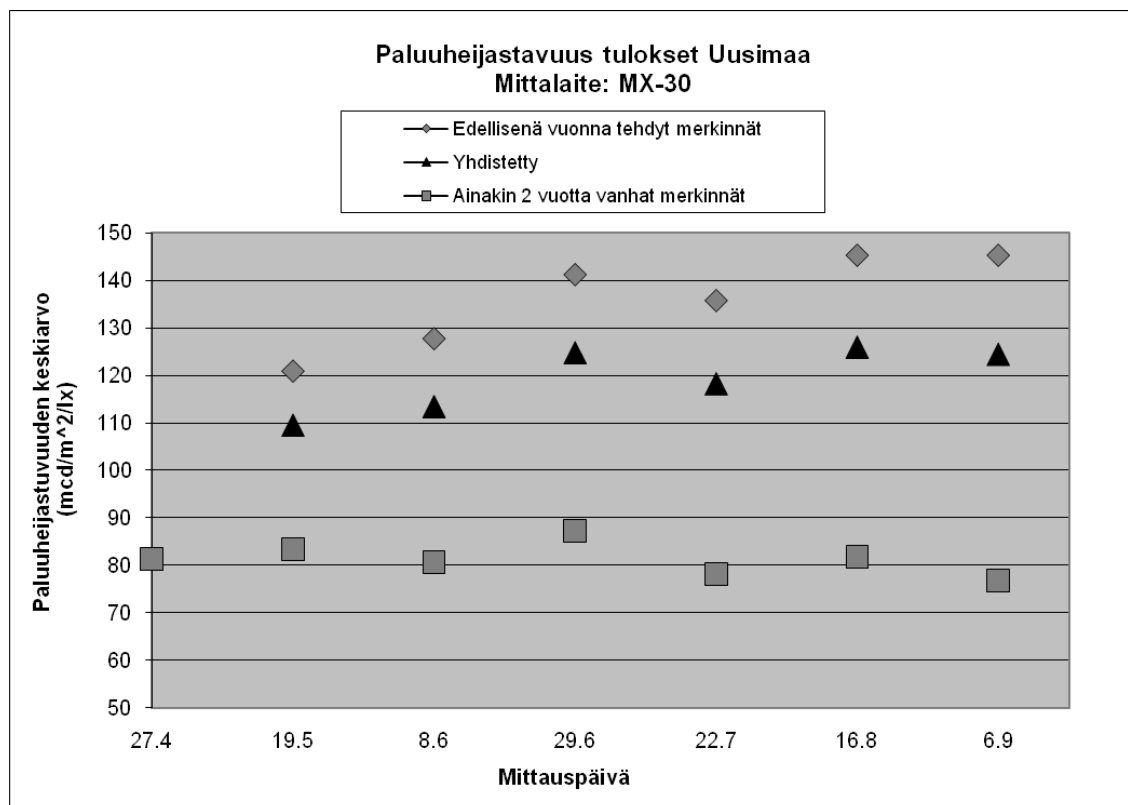
3.3 Tulokset

3.3.1 Pistekohtaiset paluuheijastavuusmittaukset

Kuten luvusta 2.1.1 selviää, paluuheijastavuuden olisi pitänyt olla vuoden ikäisillä ja sitä vanhemmilla valkoisilla tiemerkinnoillä $100 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ ja keltaisilla $80 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$. Huonokuntoisimpien merkintöjen, joiden paluuheijastavuus oli lähellä asfaltin arvoa, heijastavuus ei todennäköisesti olisi voinut parantua, koska lasihelmiä ei olisi ollut merkinnässä jäljellä. Paluuheijastavuusmittausten tulokset on esitetty kuvassa 21 ja liitteessä 4.

Ensimmäisen mittauskierroksen pisteistä käytetään tässä työssä jatkossa vain niitä, jotka olivat käytettävissä myös jälkimmäisillä kierroksilla. Koska ensimmäisen mittauskierroksen pistemäärä oli eri kuin muiden, verrataan ensimmäisen mittauskerran tuloksia muihin kierroksiin siten, että jälkimmäisistä kierroksista käytetään tuloksiin vain niitä pisteitä, jotka mitattiin jo ensimmäisellä kierroksella. Kun verrataan muita kuin ensimmäisen kierroksen mittaustuloksia toisiinsa, käytetään kaikkia mitattuja pisteitä.

Kuvassa 21 ovat kaikkien vertailukelpoisten mitattujen pisteiden kuvaajat. Kuvassa 21 sarja *ainakin 2 vuotta vanhat merkinnät* sisältää pisteet, jotka olivat verrattavissa ensimmäiseen mittauskertaan ja sarja *Yhdistetty* sisältää ne pisteet, joita voitiin käyttää vertailtaessa muita kuin ensimmäisen mittauskerran arvoja. Sarja *Edellisenä vuonna tehdyt merkinnät* kuvaa toisella kierroksella lisättyjen pisteiden keskiarvoja. Kuvaajista nähdään, että ensimmäisen ja neljännen mittauksen välillä paluuheijastavuuksien arvot kasvoivat kaikissa sarjoissa.



Kuva 21 Uudellamaalla tehtyjen pistemäisten paluuheijastavuusmittausten tulokset

Arvioidut kuntoarvot ja niitä vastaavat paluuheijastavuuksien keskiarvot on esitetty taulukossa 4 ja niiden välinen korrelaatio on 0,42. Taulukon 4 ylimmällä rivillä ovat kuntoarvot ja seuraavilla kolmella rivillä kuntoarvoja vastaavat paluuheijastavuuksien

keskiarvot sekä korkeimmat ja alimmat paluuheijastavuusarvot. Alimmalla rivillä on varianssi. Kun kuntoarvo kasvoi ja tiemerkintöjen kunto parani, myös paluuheijastavuuden arvot kasvoivat. Kuntoarvot ja paluuheijastavuusarvot mitattiin ensimmäisellä ja toisella mittauskierroksella.

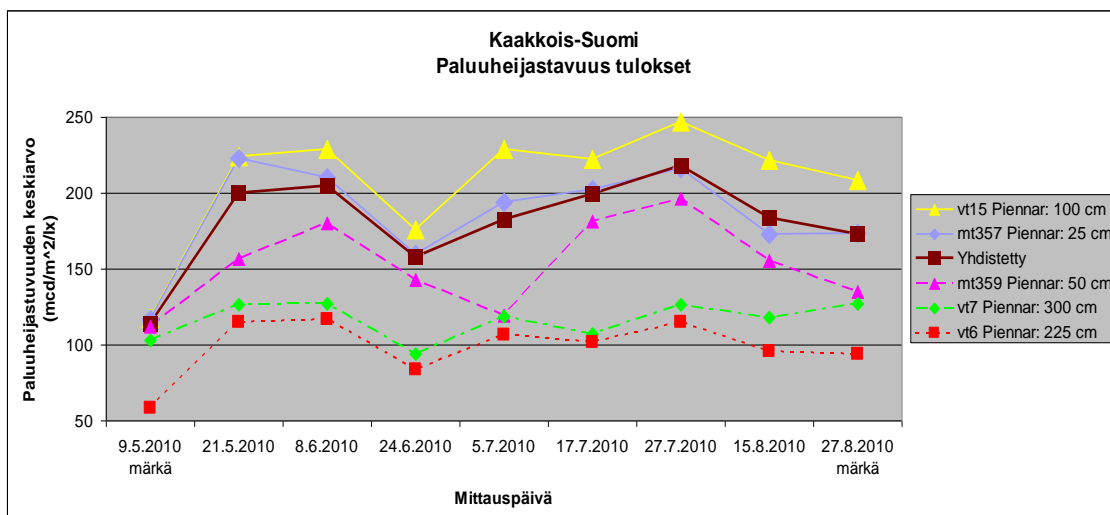
Taulukko 4 Kuntoarvon ja paluuheijastavuuden vastaavuus

Kuntoarvo	1	2	3	4	5
Paluuheijastavuuden Keskiarvo	25	79	78	84	139
Paluuheijastavuuden Maksimi	29	189	163	129	240
Paluuheijastavuuden Minimi	23	22	32	30	78
Paluuheijastavuuden Varianssi	10	1110	1265	793	3650

3.3.2 Jatkuva paluuheijastavuusmittaus

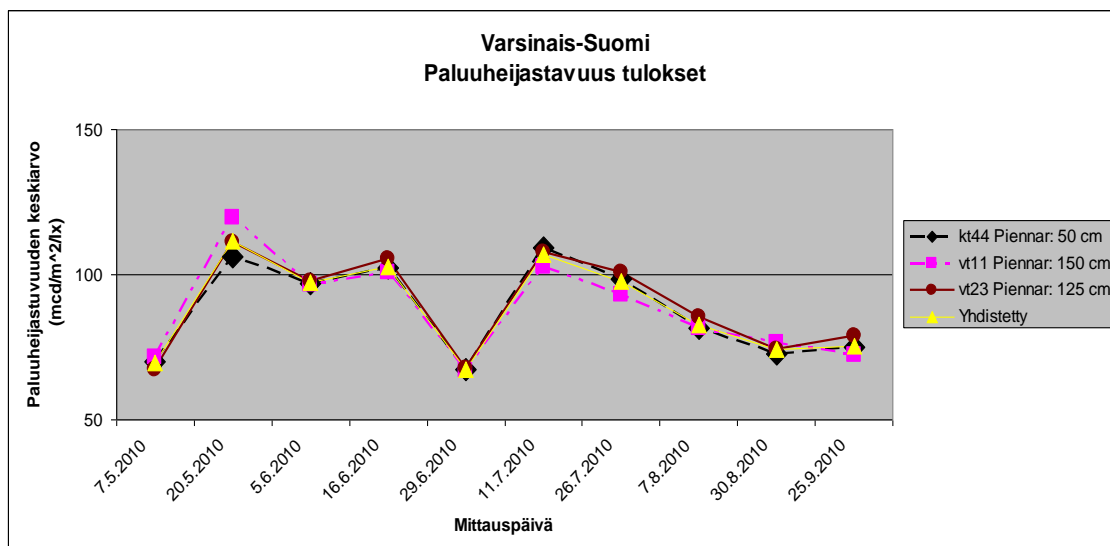
Jatkuvien paluuheijastavuusmittauksien tulokset osoittivat, että tiemerkintöjen paluuheijastavuus parani toukokuun alusta ja saavutti lähes parhaan arvon jo toukokuun puolivälissä. Tämän jälkeen tiemerkintöjen paluuheijastavuus pysyi lähes ennallaan aina heinäkuun puoliväliin asti, jos ei oteta huomioon kesäkuun lopulla saatuja poikkeavia arvoja. Heinäkuun lopun jälkeen paluuheijastavuus heikkeni. Kuvissa 22 ja 23 on esitetty teittäin ja kokonaisuutena paluuheijastavuuden keskiarvot eri ajankohtina. Kaikilla käyrillä on samanlainen muoto. Molemmissa kohteissa oli paluuheijastavuuskäytös samanlaista erilaisilla teillä.

Kaakkois-Suomen ELY- keskuksen alueella tehtyjen mittauksien tulokset ja mittauksien ajankohdat on esitetty kuvassa 22 teittäin ja kokonaisuutena. Osa mittauskohteen mitattavasta reunalinjasta oli märkää ensimmäisen ja viimeisen mittauksen aikana. Kaakkois-Suomen mittauskohteiden paluuheijastavuuden keskiarvo vaihteli 114 - 218 välillä. Ensimmäisen mittauskerran paluuheijastavuuden keskiarvo on ainoa, joka poikkeaa huomattavasti muista. Paluuheijastavuus vaihtelee yllättävän paljon mittausten välillä ja on vaikeaa sanoa varmasti paluuheijastavuuden muutoksen suuntaa. Syksyä kohden paluuheijastavuus näyttäisi heikkenevän. Alin paluuheijastavuuden keskiarvo saatiin ensimmäisellä mittauskerralla ja korkein seitsemännellä mittauskerralla. Niin sanottuja "mittauspisteitä", noin 100 metrin mittauksen keskiarvoja, oli Kaakkois-Suomen mittauskohteissa yhteensä 794.



Kuva 22 Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen alueella tehtyjen paluuheijastavuusmittausten tulokset

Kuvassa 23 on Varsinais-Suomen ELY- keskuksen alueella tehtyjen mittauksien tulokset teittäin ja kokonaisuutena. Varsinais-Suomen mittauskohteiden paluuheijastavuuksien keskiarvo vaihteli välillä 67 – 112 mcd/m²/lx. Alin paluuheijastavuuden keskiarvo saatiin viidennellä mittaukskerralla ja korkein toisella mittaukskerralla. Varsinais-Suomen mittauskohteissa oli "mittauspisteitä" yhteensä 1116.



Kuva 23 Varsinais-Suomen ELY-keskuksen alueella tehtyjen paluuheijastavuusmittausten tulokset

3.4 Tulosten analysointi

Pistemäisten paluuheijastavuusmittausten tuloksien painotus oli uusissa tiemerkinnöissä. Se ja tiemerkintämassan resepti ovat voineet vaikuttaa siihen, että paluuheijastavuus ei lähtenyt laskemaan elo-syyskuun aikana kuten jatkuvina tehdyissä

paluuheijastavuusmittauksissa. Varsinkin massojen reseptin vaikutus paluuheijastavuuskäyttöön on voinut olla suuri. Mittauslaitteistojen erot eivät todennäköisesti vaikuttaneet paluuheijastavuusmittausten tuloksiin ja siten eivät myöskään mittaustulosten eroihin.

Pistemäinen mittaus kattoi kuitenkin huomattavasti pienemmän osan merkinnöistä kuin jatkuvina tehdyt mittaukset. Koska edellä olevien huomioiden lisäksi tiedetään, että urakoitsijat teettävät mittaukset jatkuvalla mittaustavalla, voidaan sanoa jatkuvan paluuheijastavuuden mittaustulosten olevan paremmin todellista tilannetta kuvaavia. Siksi niillä oli tutkimuksessa suurempi merkitys kuin pistemäisillä mittauksilla.

Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen alueella tehtyjen jatkuvien paluuheijastavuusmittauksien ensimmäisessä ja viimeisessä mittauksessa osa mitatuista merkinnöistä oli märkiä. Märät kohdat jätettiin pois tutkimuksista, mutta kosteus on voinut vaikuttaa ensimmäisen ja viimeisen mittauksen tuloksiin. Varsinais-Suomen mittauksien perusteella voidaan kuitenkin todeta, että näiden Kaakkois-Suomen mittauksien tulokset ovat oikean suuntaisia.

Kesäkuun lopussa tehtyjen mittausten alhainen tulos voi johtua havupuiden siitepölystä. Havupuiden kukinnan huippu oli Etelä-Suomessa kesäkuun alussa ja kukinnan loputtua oli paljon laskeutunutta siitepölyä. Yleensä havupuiden kukinnan huippu on Etelä-Suomessa touko-kesäkuun vaihteessa, pohjoisempana (Oulu) kesäkuussa ja Pohjois-Lapissa kesäkuun lopussa. (Pessi 2010)

Paluuheijastavuuden ja kuntoarvon välillä oli vain heikko yhteys (taulukot 4 ja 5 s. 40). Aineiston korrelaatiokertoimeksi tuli 0,42, mikä oli tässä tapauksessa huono. Jos näiden kuntoarvojen perusteella olisi uusittu tiemerkintöjä, olisi uusimatta voinut jäädä paluuheijastavuudeltaan huonoja merkkintöjä ja olisi voitu myös uusia turhaan merkkintöjä, joilla vielä olisi hyvä paluuheijastavuus.

4 Jyrsittyjen merkintöjen kuntokatselmus

4.1 Tavoitteet

Diplomityössä tutkittiin, millaisille päällysteille jysintämerkintä sopii, kun otetaan huomioon esimerkiksi päällysteen ikä, tyyppi (SMA, AB, jne.), jysintämerkinnän dimensiot ja merkinnän sijoittuminen poikkileikkauksessa. Toisin sanoen selvitettiin, mitkä eri asiat vaikuttavat ja miten päällysteen ja siihen tehdyn jysintämerkinnän kuntoon ajan myötä.

4.2 Tutkimusmenetelmät

Jysintämerkintöjen kunnon arvioimista varten tehtiin jysintäjälkien kuntoinventointi. Inventoinnissa selvitettiin kunnon lisäksi tärkeimmät tiedot jysinnöistä kuten dimensiot ja jysinnän sijainti poikkileikkauksessa. Inventointiin käytettiin noin viisitoista päivää ja se tehtiin samantyyppisenä tarkasteluna kuin TIEH 54/2007:ssä esitetty inventointi. Jysittyjen täristävien viivojen kuntoa arvioitiin silmämääräisesti ja mittaamalla jysintäjälkien dimensiota ja jysintäjälkien etäisyyttä toisistaan. Dimensioista mitattiin leveys sekä syvyys. Pituus jätettiin mittaamatta, koska se riippuu täysin jysinnän syvyydestä ja jysimen rummun halkaisijasta. Mitä syvempi jysintä on, sitä pitempi se myös on.

Silmämääräisesti arvioitiin jysintämerkinnälle vaurioluokka taulukon 5 mukaan. Taulukko on yhdenmukainen Tiehallinto 54/2007-maastoinventointijulkaisussa esitetyn taulukon kanssa. Keskilinjan jysinnät on eritelty reunalinjojen jysinnöistä. Lisäksi määriteltiin, oliko jysintä tehty päällysteiden saumakohtaan, sauman viereen mutta kiinni saumaan vai erilleen saumasta.

Taulukko 5 Vaurioluokat

Vaurioluokka:
1 Hyvä, ei vaurioita 2 Lievä, 5% vaurioituneita 3 Keskinertainen, 10% vaurioituneita 4 Keskivertoista huonompaa 10-20% vaurioituneita 5 Huono yli 20% vaurioituneita
Vauriotyyppi:
0 Keskisauman halkeama 1 Yksittäinen reikä 2 Jysintäjäljen leviäminen pituussuunnassa 3 Jysintäjälkien yhdistyminen 4 Jysintäjälkien leviäminen leveyssuunnassa

Inventoinnin lisäksi tarvittiin tiedot päällysteistä. Päällystetiedot, kuten päällysteen tyyppi, hankittiin Liikenneviraston tierekisteristä ja niitä tarkennettiin tarvittaessa ELY-keskusten tiedoilla. Päällystelaatan paksuus jätettiin pois tutkimuksista, koska sen mittaaminen olisi ollut erittäin hankalaa ja hidasta. Päällystelaatan paksuus olisi kuitenkin ollut hyvin merkitsevä seikka jyrshintöjen kunnon kannalta. Päällystetietojen lisäksi tehtyjen jyrshintämerkintöjen sijaintitietoja hankittiin ELY-keskuksista. Jotta voitiin valita mittauspisteiden sijainnit, hankittiin Liikenneviraston tierekisteristä tieosien pituustiedot. Lisäksi hankittiin kuntoarvotiedot TIEH 54/2007-julkaisussa tehdystä inventoinnista, jotta voitiin tutkia jyrshintämerkintöjen ja päällysteiden kulumista suhteessa aikaan.

Kaikki Uudenmaan ja Kaakkois-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen alueilla sijaitsevat jyrshintämerkinnät inventoitiin ja lisäksi osa Pohjois-Savon jyrshintämerkinnöistä. Inventointi tehtiin siten, että yhtä jyrshintä tieosaa kohden tehtiin yksi tarkastelu 200 metrin mittaisella matkalla ja se valittiin kohteen puolivälistä. Sekä reunalinjan että keskilinjän jyrshintät tarkastettiin. Jos tähän 200 metrin mittaiseen tarkasteluosuuteen osui asfaltin saumakohta, tarkasteltiin saumakohdan molemmiin puoliin 100 metriä.

Jyrshintämerkintöjen inventoinnin aineistosta laskettiin keskiarvot päällysteen ja jyrshintämerkintöjen eri ominaisuuksien mukaan, jotta voitiin arvioida niiden vaikutusta kuntoarvoon. Keskiarvojen lisäksi ominaisuuksien vaikutuksen tulkinnassa käytettiin työkaluina kahta regressioanalyysia, kahta korrelaatiotestiä ja vertailua edelliseen tutkimukseen.

Ensimmäinen regressioanalyysi tehtiin koko aineistolle ja toinen tien keskilinjän jyrshintämerkinnöille. Päällysteen ikää koskeva muuttuja on koko aineiston regressioanalyysissä epävarma, koska pientareille tehtyjä päällysteitä ei ole rekisteröity erikseen vaan päällysteet täytyi päätellä päällystysrekisterin avulla. Päätelmä lisää regressioanalyysien epävarmuutta, koska päällystysrekisteriin on merkitty kaikki päällystykset. Tien keskilinjalle tehtyjen jyrshintämerkintöjen regressioanalyysissä otettiin taas huomioon päällysteen ominaisuudet. Tien keskeltä pääteltiin päällyste päällystysrekisteristä. Ensimmäinen regressioanalyysi kuvaa paremmin jyrshintöjen ominaisuuksien merkitystä ja toinen analyysi päällysteen ominaisuuksien merkitystä.

Päällysteen ikä niin kuin myös jyrshintöjen ikä olivat regressiomallien muuttujissa vuoden tarkkuudella. Päällysteen tyyppi ja maksimirakoko olivat muuttujina vain keskilinjan analyysissä. Päällysteen tyyppinä oli vain kaksi: asfalttibetoni (AB) ja kivimastikiasfaltti (SMA). Näille annettiin mallissa dummy-muuttujat 0 ja 1 siten, että AB oli 1 ja SMA 0.

Jyrsinnän syvyys on estimoitu millimetrin tarkkuudella ja on mallissa senttimetreissä. Jyrsinnän sijainnit ovat mallissa myös dummy-muuttujina. Jyrsinnän sijainti oli määritelty analyyseissä kahdella eri tavalla. Sijainti poikkileikkauksessa kertoo, sijaitseeko jyrshintä tien keskilinjalla vai reunassa. Sijaintia poikkileikkauksessa käytettiin vain koko aineiston regressiossa. Toinen sijaintia koskeva tieto oli jyrshintyksen merkinnän suhde asfaltin saumakohtaan. Se kertoo, onko jyrshintämerkintä asfaltin saumakohdassa vai ei. Muita muuttujia analyyseissä olivat jyrshintämerkintöjen leveys ja väli. Kaikki edellä selitetyt muuttujat on myös esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6 Regressioanalyysissä käytetyt muuttujat

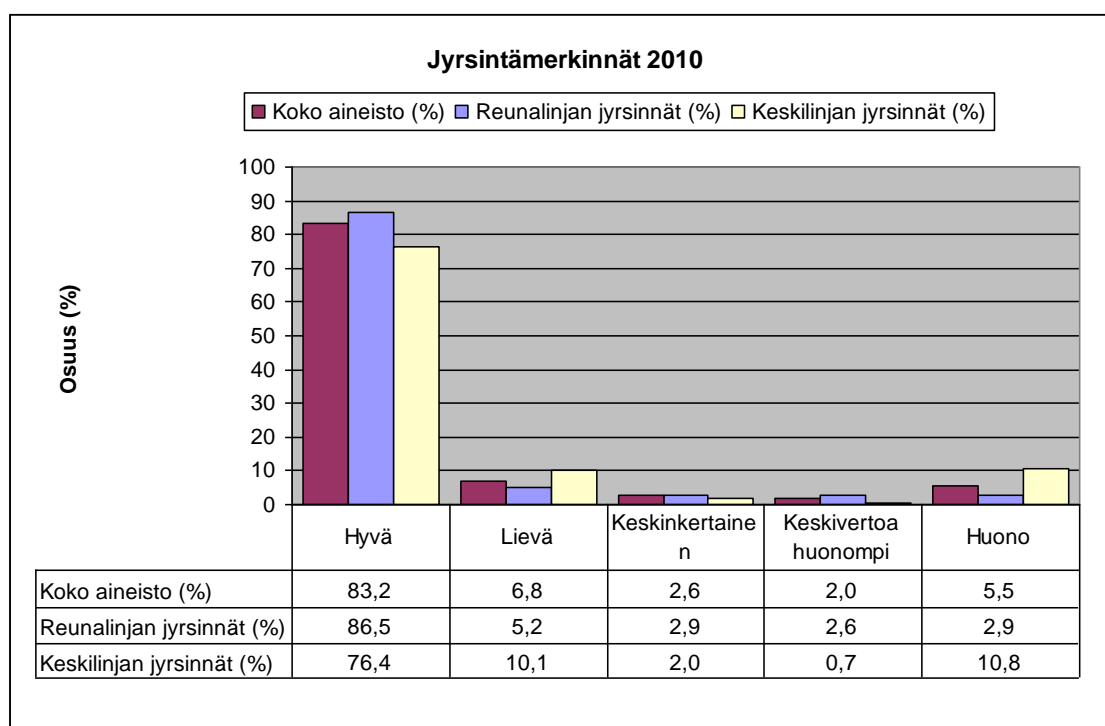
Muuttujat	Yksikkö	Koko aineiston analyysissä	Keskilinjan analyysissä
Sijainti poikkileikkauksessa	reunassa tai keskilinjassa	kyllä	ei
Sijainti sauman suhteen	saumassa tai ei	kyllä	ei
Jyrsinnän syvyys	cm	kyllä	kyllä
Jyrsinnän ikä	vuosi	kyllä	ei
Jyrsinnän leveys	cm	kyllä	ei
Jyrsintäväli	cm	kyllä	ei
Päällyste	ab tai sma	ei	kyllä
Päällysteen maksimi rakoko	mm	ei	kyllä
Päällysteen ikä	vuosi	kyllä	kyllä

Regressioanalyysien lisäksi testattiin muuttujien korrelaatiota kuntoarvon kanssa. Muuttujat ja aineisto olivat samat kuin regressioanalyysissä. Korrelaatiotesteillä ja regressioanalyysillä selvitettiin eri muuttujien merkitystä kuntoarvoon.

Tämän tutkimuksen tuloksia verrattiin myös Tiehallinnon edelliseen jyrshintämerkintöjen maastoinventointitutkimukseen pois lukien tutkimuksien välisenä aikana uusitut jyrshintämerkintäkohdat. Tällä vertailulla selvitettiin, miten jyrshintämerkinnöistä johtuvat vauriot lisääntyvät kolmen tai neljän vuoden aikana.

4.3 Tulokset

Hyvin varhaisessa vaiheessa jysintämerkintöjen kenttätutkimusta kävi ilmi, että jysintämerkinnät olivat suurimmalta osin hyvässä kunnossa. Hieman yli 80 prosenttia merkinnöistä oli lähes vaurioitumattomia ja kuuluivat kuntoluokkaan hyvä, ja vain noin 6 prosenttia merkinnöistä oli vaurioitunut huonoon kuntoon. Painottamalla kuntoluokkien osuuksia kuntoluokkien keskimääräisillä vauriomäärillä saatiin kaikkiaan vaurioituneiden jysintämerkintöjen osuudeksi 5 %, reunalinjan jysinnöistä vaurioituneiden osuudeksi vain 3,5 % ja keskilinin jysintämerkinnöistä vaurioituneiden osuudeksi tuli 8,1 %. Tällöin kuntoluokalla 1 käytettiin vauriomääränä 1 % ja kuntoluokalla 5 vastaavasti 60 %. Kuntoluokkien 2, 3 ja 4 keskimääräiset vauriomäärät on esitetty taulukossa 5. Kuvassa 24 on esitetty tarkemmin jysintyjen merkintöjen eri kuntoluokkien osuudet. Jysintämerkintöjen kuntokatselmuksen tulokset tiekohdittain löytyvät liitteestä 5.



Kuva 24 Jysintämerkintöjen kuntoluokkien osuudet

Taulukoissa 7 - 10 on esitetty jysintämerkintöjen kuntoarvojen keskiarvot jysinnän ominaisuuksien ja sijainnin mukaan. Taulukoissa ensimmäinen sarake kertoo, mikä on muuttuja ja mikä sen ominaisuus on. Sarakeessa "keskimääräinen vaurioluokka" on merkintöjen vaurioluokan laskettu keskiarvo ensimmäisen sarakkeen mukaisessa tilanteessa ja "keskihajonta" kertoo tämän keskihajonnan. "Lukumäärä"-sarake kertoo kuinka monella kohteella oli ensimmäisessä sarakeessa kuvattu ominaisuus.

Jyrsintäsyvyyden vaihteluväli oli tutkimuksen mukaan 0,3 cm:sta aina 1,5 cm:een saakka.

Taulukko 7 Kuntoarvot jyrsintävuoden mukaan

Jyrsintävuosi	Keskimääräinen vaurioluokka	Lukumäärä	Keskihajonta
2006	1,81	78	1,48
2007	1,37	195	0,99
2008	1,21	112	0,73
2009	1,32	71	0,87
2010	1,00	2	0,00

Taulukko 8 Kuntoarvot jyrsintäsyvyyden mukaan

Jyrsintäsyvyys (cm)	Keskimääräinen vaurioluokka	Lukumäärä	Keskihajonta
<1	1,27	147	0,86
1	1,37	159	0,98
>1	1,55	152	1,21

Taulukko 9 Kuntoarvot jyrsinnän leveyden mukaan

Jyrsinnän leveys (cm)	Keskimääräinen vaurioluokka	Lukumäärä	Keskihajonta
20	1,32	109	0,86
25	2,07	14	1,69
30	1,39	335	1,04

Taulukko 10 Kuntoarvot jyrsintämerkinnän sijainnin mukaan

Jyrsinnän sijainti	Keskimääräinen vaurioluokka	Lukumäärä	Keskihajonta
Saumassa	1,56	264	1,19
Ei saumaa	1,17	194	0,71

Kuntoarvojen keskiarvot päällysteen eri ominaisuuksien mukaan on esitetty taulukoissa 11 - 13. Sarakkeiden selitykset ovat muuten samat kuin taulukoilla 7 - 10, mutta taulukoilla 11 ja 13 on lisäksi yksi sarake. Tässä sarakeessa on laskettu keskimääräinen ikä ensimmäisen sarakkeen mukaisessa tilanteessa. Taulukossa 13 on päällysteen maksimiraekoko millimetreissä.

Taulukko 11 Kuntoarvot eri päällysteillä (keskilinjalla)

Päällyste	Keskimääräinen vaurioluokka	lukumäärä	Päällysteen keski-ikä (v)	Keskihajonta
AB	1,48	58	4,7	1,11
SMA	1,67	90	5,0	1,37

Taulukko 12 Kuntoarvot eri-ikäisillä päällysteillä (keskilinjalla)

Päällystys vuosi	Keskimääräinen vaurioluokka	Lukumäärä	Keskihajonta
<2000	3,83	6	1,83
2000-2003	2,08	39	1,55
2004-2006	1,36	42	1,08
2007-2009	1,23	61	0,76

Taulukko 13 Kuntoarvot päällysteen eri maksimiraekooilla (keskilinjalla)

Raekoko	Keskimääräinen vaurioluokka	Lukumäärä	Päällysteen keski-ikä (v)	Keskihajonta
11	1,00	5	3,6	0,00
16	1,47	135	4,5	1,11
18	4,50	6	10,8	1,22
20	3,00	2	18,0	2,83

Regressioanalyysi koko aineistolle ja vastaava analyysi keskilinjan merkinnöille on liitteessä 3. Koko aineiston analyysissä merkitsevät tekijät olivat merkinnän sijainti suhteessa saumaan, jyrsinän ikä ja leveys sekä päällysteen ikä ja tyyppi. Keskilinjan jyrsinämerkinnöille tehdyn analyysin mukaan merkitseviä selittäjiä olivat päällysteen ikä ja jyrsinän syvyys. Koko aineistolle tehdyn regressioanalyysin selityssaste oli vain 0,12 ja keskilinjan aineistolle 0,19.

Taulukoissa 14 ja 15 on tämän tutkimuksen tuloksia verrattu Tiehallinnon vuonna 2007 julkaisemaan maastoinventoinnin vastaaviin tuloksiin. Vertailussa käytettiin vuoden 2007 maastoinventoinnin kohteita. Taulukossa "Kohde" tarkoittaa tietä, "Vaurioluokan keskiarvo" matkalla painotettua vaurioluokan keskiarvoa, "matka" tutkimuksen käsittävää matkaa kohteessa ja "arvo" edellisen tutkimuksen kuntoarvoa.

Taulukko 14 Keskilinjan jyrsinämerkintöjen vauriovertailu Tiehallinnon maastoinventointiin

Tämä tutkimus			Edellinen tutkimus	
Kohde	Vaurioluokan keskiarvo	matka (m)	arvo	matka (m)
Vt1/kt110	2,40	25 620	1,70	28 443
Vt 2 vihti-Salkola	3,50	38 265	2,50	38 343
Vt 7	UUSITTU KOKONAAN			
kt45 Hyrylä Hyvinkää	3,00	8 054	1,90	19 430
kt50 Espoon keskus	5,00	6 622	1,90	9 778
kt51 kirkkonummi-karjaa	1,00	29 355	hyvä	49 221
Vt 25 Hanko-Lohja	1,25	58 079	hyvä	68 400

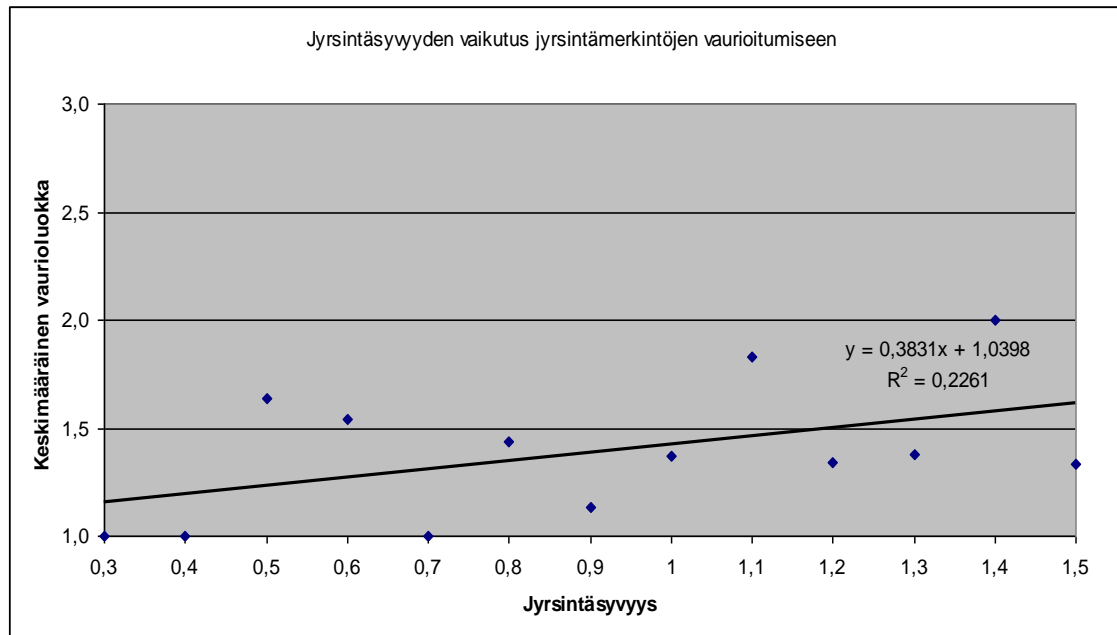
Taulukko 15 Reunalinjan jyrämerkintöjen vauriovertailu Tiehallinnon maastoinventointiin

Tämä tutkimus			Edellinen tutkimus	
Vertailun kohde	Vaurioluokan keskiarvo	matka (m)	Arvo	matka (m) arvioitu
Vt 7 Kehä III-Porvoo	1,46	32 270	Joitakin vaurioita	n. 32 270
Vt 7 Koskenkylä-Loviisa	1,00	16 549	Moitteeton	n. 16 550
Vt 6 Lapinjärvi-Kimonkylä	1,00	11 486	Moitteeton	n. 11 490
Vt 4 Lahti-Mäkelä	1,00	9 621	Moitteeton	n. 9 620
Vt 12 Hollola-Kukonkoivu	1,00	6 453	Moitteeton	n. 6 450
Kt 54 Hollola-Riihimäki	1,47	42 447	Muutamia vaurioita	n. 42 450
Vt 3 Riihimäki-Hyvinkää	1,33	10 835	Hyvä	n. 10 840
Vt 3 Hyvinkää-Klaukkala	2,90	35 492	Suurimmaksi osaksi hyvä	n. 35 490
Kt 50 Vt3-Vt4	1,00	13 487	Hyvä	n. 13 490

4.4 Tulosten analysointi

Jyrämerkintöjen kunnan voisi ajatella heikentyvän merkintöjen vanhetessa. Tämä tapahtuisi siksi, koska päällyste vanhenee ja jyrämerkinnät joutuvat kulutuksen kohteeksi kuten muukin tien pinta. Myös koko aineiston regressioanalyysin (liite 3) mukaan jyrämerkinnän ikä vaikuttaa olevan merkittävä tekijä. Vaikka näyttää siltä, että vuosina 2006 - 2008 tehtyjen jyrämerkintöjen inventointien tuloksien mukaan merkintöjen kunto heikentyy merkintöjen vanhentuessa, ei asia ole välttämättä näin. Vuonna 2006 tehtiin jyrämerkintöjen kokeiluja ja vasta 2006 saatiin merkintöjen tekoon ohjeistus. Lisäksi vuoden 2007 - 2009 merkinnät näyttävät olevan melkein samassa kunnossa.

Kuva 25 ja taulukko 8 (s.48) osoittavat sen, että mitä syvempi oli jyrä, sitä huonommassa kunnossa oli merkintä. Tämä saattoi johtua päällysteen paksuuden ja jyrämerkinnän syvyyden välisestä suhteesta. Jyräessä neljäsosa pois päällysteen paksuudesta, ei päällyste välttämättä ole kestänyt yhtä hyvin kuin jos jyrää ei olisi. Toinen selittävä syy jyrämerkinnän syvyyden ja kunnan välillä voi olla myös se, että vaurioituneiden jyrämerkintöjen syvyys oli suurempi. Vaikka syvyys mitattiin mahdollisimman ehjistä merkinnöistä, voi olla, että vauriot ja kulutus ovat voineet hieman vaikuttaa jyräntöjen syvyyteen. Myös jyräsyvyyden mittaustapa voi muuttaa tuloksia. Regressioanalyysi koko aineistolle (liite 3) ei tue teoriaa jyräsyvyyden vaikutuksesta, mutta keskilinjan jyräntöille tehty regressioanalyysi (liite 3) tukee tätä teoriaa. Jyräsyvyyden keskiarvoksi saatiin 9,9 mm.



Kuva 25 Jyrsintäsyvyyden vaikutus kuntoarvoon koko aineiston mukaan

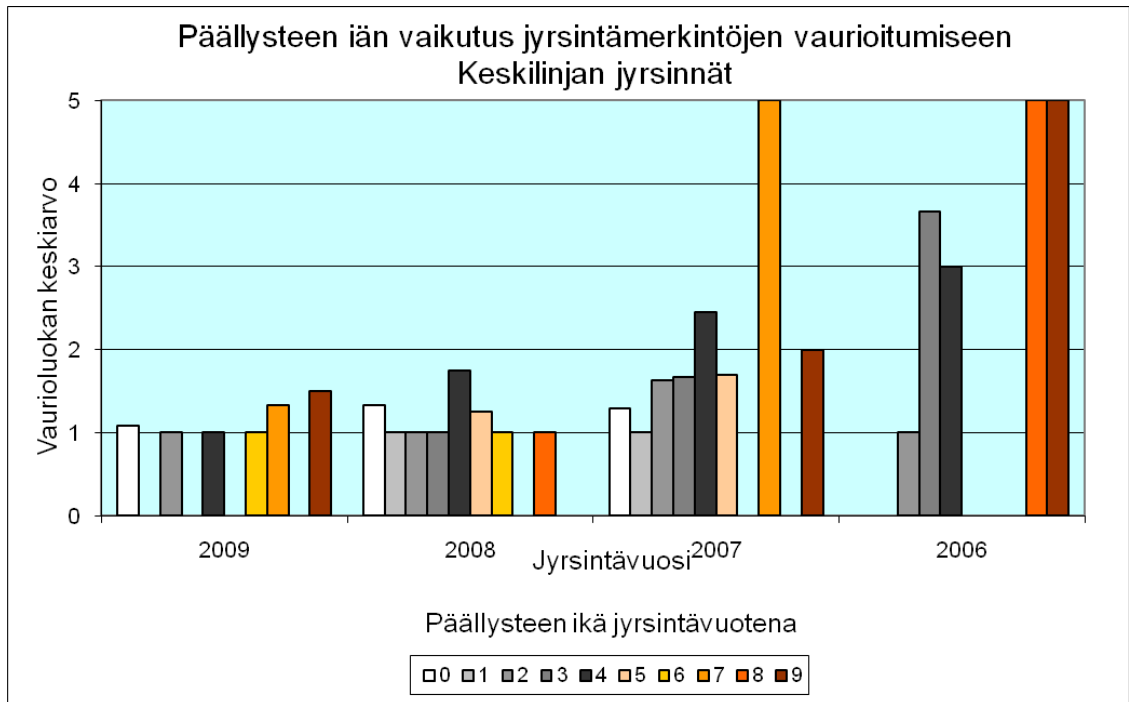
Jyrsintämerkintöjen leveydellä ei ollut vaikutusta kuntoon vaikkakin 25 cm leveä jyrsintä oli yleensä heikommassa kunnossa kuin muut. Tätä jyrsintää esiintyi vain muutamassa kohteessa ja sen kuntoarvoa ei siksi voida pitää luotettavana. Myös koko aineiston regressioanalyysin (liite 3) mukaan leveys ei ole merkitsevä tekijä.

Jyrsintämerkinnät olivat huonommassa kunnossa, kun ne sijaitsivat päällysteiden saumakohdassa. Tämä voitiin todeta koko aineiston regressioanalyysistä (liite 3), taulukosta 10 (s.48), keskilinjan jyrsintämerkintöjen huonommasta kunnosta ja aiemmista tutkimuksista. Päällysteiden saumakohta on jo ilman jyrsintämerkintöjä vaurioherkkä.

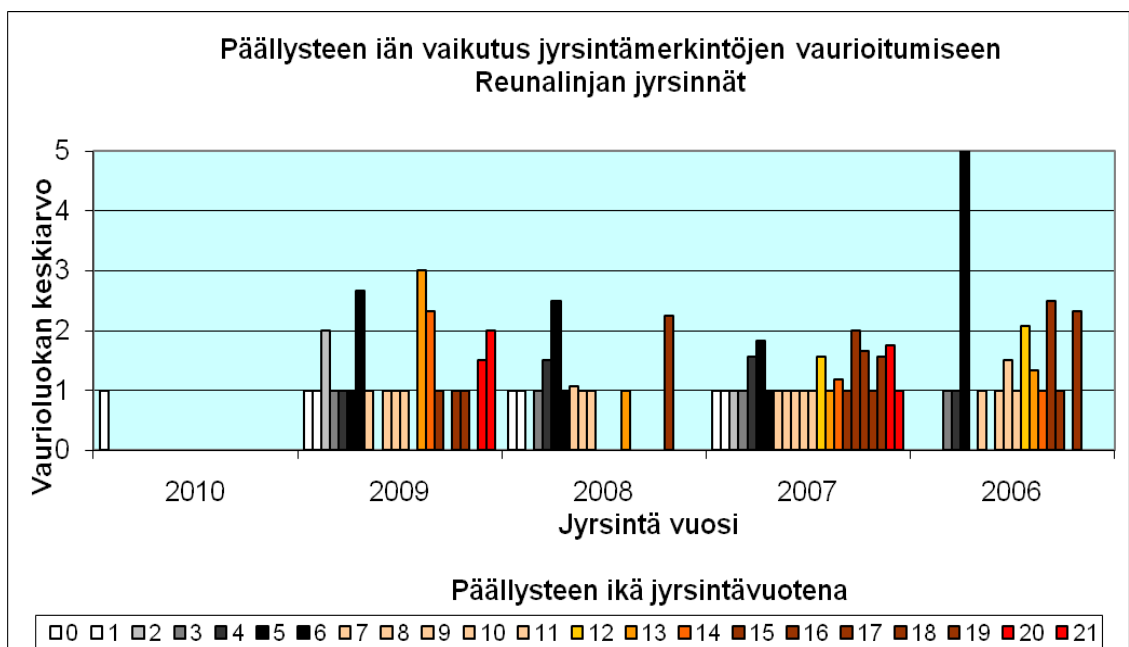
Tutkimuksen tuloksista huomataan (taulukko 11 s. 48), että jyrsintämerkinnät, jotka oli tehty kivimastikiasfalttipäällysteeseen (SMA), olivat asfalttibetonipäällysteeseen (AB) tehtyjä merkintöjä huonommassa kunnossa. SMA-päällysteet olivat kuitenkin keskimäärin vanhempia kuin AB-päällysteet eikä ero muutenkaan ollut suuri.

Myös päällysteen iällä näyttäisi olleen keskiarvojen mukaan merkitystä jyrsintämerkintöjen ja päällysteen kuntoon. Taulukon 12 mukaan jyrsintämerkinnät, jotka on tehty vuosina 2000 - 2003 päällystettyyn tiehen, olivat huonommassa kunnossa kuin uudempiin päällysteisiin tehdyt. Molemmat regressioanalyysit (liite 3) tukivat myös teoriaa päällysteen iän vaikutuksesta. Asiaa on vielä tarkasteltu lähemmin kuvissa 26 ja 27. Niissä päällysteen iän vaikutusta tarkkaillaan jyrsintämerkintöjen

jyrsintävuosien mukaan. Kuvista selviää, että jyrsintävuonna ainoastaan aivan uudet tai maksimissaan kaksi vuotta vanhat päällysteet olivat melkein aina hyvässä kunnossa. Nyt täytyy myös muistaa, että keskilinjan jyrsintäaineiston päällystetiedot olivat tarkemmat.



Kuva 26 Päällysteen iän vaikutus jyrsintämerkintöjen vaurioitumiseen



Kuva 27 Päällysteen iän vaikutus jyrsintämerkintöjen kuntoon

Raekoon vaikutusta ei voitu todeta keskiarvojen perusteella (taulukko 13 s. 49), koska muita kuin maksimiraekooltaan 16 mm päällysteitä oli tarkastelualueilla hyvin vähän.

Keskiarvot näyttivät kuitenkin, että pienemmällä maksimiraekooalla tehty päällyste kesti jysintämerkinnät paremmin. Tämä saattaa johtua siitä, että jysittäessä päällystettä isommat rakeet jättävät suurempia koloja jysintäjälkeen. Raekoko ei ollut myöskään regressioanalyysin mukaan merkitsevä tekijä.

Vertailu edelliseen maastoinventointiin oli vaikeaa, koska osa jysintämerkinnöistä oli jo uusittu ja arviointeja tekivät eri henkilöt ja hieman eri tavalla. Kun aikaisemmin oli valittu kohde aina noin kilometrin välein, valittiin kohteet tässä tutkimuksessa aina tieosan puolivälistä. Joten aikaisemmin 5 kilometrin pituisella matkalla oli 5 analyysia ja nyt vain noin 1. Taulukkojen 15 ja 16 tulokset osoittavat sen, että merkintöjen kunto oli heikentynyt aikaisemmasta tutkimuksesta. Aikaisemmin hyvässä kunnossa olleet merkinnät olivat edelleen suhteellisen hyvässä kunnossa, jos valtatie 3 ei lasketa mukaan. Valtatiellä 3 oli jysintämerkinnän vieressä olevan kaistan päällystettä uusittu siten, että päällyste peitti katselmoinnin aikana osan jysintämerkinnästä, kuten kuvassa 28 on esitetty. Tämän takia valtatie 3 jysintämerkintöjen kunto oli heikompi kuin aikaisemmassa tutkimuksessa.



Kuva 28 Saumaan tehty jysintämerkintä päällysteen uusimisen jälkeen Vt 3:llä

5 Yhdistelmämerkintäkokeilu

5.1 Tavoitteet

Työssä tutkittiin kokeilukohteessa siniaallonmuotoista jysintämerkintää ja jysintään tehtyjä visuaalisia merkintöjä. Vastauksia haettiin kysymykseen, onko ratkaisu toimiva Suomessa, siis onko siniaallonmuotoisen jysintämerkinnän tuottama ohiajomelu vähäisempää kuin tavanomaisen merkinnän ja onko sen herättävä vaikutus tarpeeksi suuri sekä onko vaikutusta paluuheijastavuuteen, jos tiemerkinä tehdään siniaallonmuotoiseen jysintäjälkeen.

Siniaallonmuotoisen tärinämerkinnän toimivuuden ja Drop-On Line-merkinnän vaikutusten selvittämiseksi mitattiin kokeilukohteessa tärinää, sisä- ja ohiajomelua sekä kuiva- ja märkäpaluuheijastavuutta. Näistä saatuja mittaustuloksia vertaillaan tässä työssä keskenään ja aikaisempiin tutkimustuloksiin.

Sisämelumittausten ja tärinämittausten tulosten avulla selvitettiin, onko melu riittävä herättämään "nukahtanut" kuljettaja ja kuinka suuri on eri merkintöjen ja merkintäyhdistelmien vaikutus. Ulkomelumittauksilla tutkittiin, onko melutaso kokeilukohteen sinikäyränmuotoisella jysinnällä siedettävämpi ympäristön kannalta kuin tasavälijysintämerkinnällä ja miten profiloitu Drop-On Line-merkintä vaikuttaa. Paluuheijastavuusmittauksilla selvitettiin, kuinka hyvin maalimerkinnot näkyvät eri oloissa ja kuinka eri tiemerkinöjen tekeminen siniaallonmuotoiseen jysintään vaikutti märkäpaluuheijastavuuksiin.

5.2 Tutkimusmenetelmät

Sinimuotoisen jysintämerkinnän ensimmäinen kokeilukohde sijaitsi tiellä numero 9 Tampereen ja Oriveden välillä. Kokeilukohteen pituus oli 25 km ja kokeilu tehtiin kesällä 2010. Kohteessa reunalinjoille oli jysintetty siniaallonmuotoista jysintämerkintää ja keskilinjalle niin sanottua tasavälijysintämerkintää. Toinen kohde sijaitsi valtatiellä 24 Asikkalassa. Asikkalassa siniaaltoista jysintämerkintää oli tehty vain tien toiseen reunaan.

Siniaallonmuotoinen jysintä oli tehty poikkileikkauksessa ajoradan reunalinjan kohdalle. Visuaalinen merkintä oli siis tehty jysinnän päälle ja siihen jysinnän reunaan, joka oli lähempänä tien keskilinjaa. Siniaallonmuotoisen jysinnän aallonhuippujen väli oli 60 cm, leveys 30 cm ja jysintä oli maksimissaan 7 mm syvää.

Tasavälilyrsintämerkintä tehtiin 60 cm jaolla ja se oli 30 cm leveää ja noin 10 mm syvyistä. Kuvissa 29 ja 30 on esitetty näiden kahden lyrsintämerkinnän profiilikuvat. Siniaallonmuotoisella lyrsintämerkinnällä oli sama sivukaltevuus kuin tienpinnalla.



Kuva 29 Tasavälilyrsintämerkinnän profiili



Kuva 30 Siniaallonmuotoisen lyrsintämerkinnän profiili

Reunalinjojen maalimerkinnät tehtiin kokeilukohteessa siniaaltoisen lyrsintämerkinnän päälle ja noin puolet koekohteen reunalinjojen merkinnöistä tehtiin Drop-On Line-merkintänä. Keskilinjan merkinnät ja loput reunalinjan merkinnöistä tehtiin sileinä merkintöinä. Keskilinjan maalimerkinnät tehtiin myös jyrsinnän päälle.

5.2.1 Melumittaukset

Ohiajomelua mitattiin ensimmäisessä kohteessa (vt 9) kahdessa pisteessä. Toisessa pisteessä oli reunalinjoilla Drop-On Line-merkintää siniaallonmuotoisessa lyrsintäjäljessä ja toisessa yhtenäistä valkoista sileää merkintää samanlaisessa lyrsintäjäljessä. Keskilinjalla oli molemmissa pisteissä tasavälilyrsinnän lisäksi valkoista katkoviivamerkintää. Toisessa kohteessa (vt 24) mitattiin ohiajomelua vain yhdessä pisteessä. Toisen kohteen mittauksissa oli sileää merkintää siniaallonmuotoisessa jyrsinnässä reunalinjassa ja tasavälilyrsinnän päällä keskilinjassa.

Ohiajomelumittausten tuloksissa täytyy ottaa huomioon se, että käytettiin vain yhtä henkilöautoa ja yhtä kuorma-autoa. Erilaiset ajoneuvot tuottavat melua erilailla niin ympäristöön kuin auton sisällekin. Auton sisälle kantautuva melu on erittäin paljon riippuvainen auton mekaanisista ominaisuuksista. Myös renkaiden sijainti jysintämerkinnässä vaikuttaa paljon melutason muuttumiseen. (Sintef 2010)

Ohiajomelun mittauksessa käytettiin ajoneuvoina kuvassa 31 olevaa Ford Mondeo-henkilöautoa, jota oli käytetty Tiehallinnon teettämässä selvityksessä (Tiehallinto 2005b) ja Scania R500 kuorma-autoa joka on kuvassa 32. Fordin renkaat olivat Nokian Hakka H 195/65 R15 95H XL ja Scanian eturenkaat olivat Bridgestone R249 385/65R22,5 ja takarenkaat olivat Bridgestone M729 295/80R22,5. Fordia käytettiin myös sisämelu- ja tärinämittauksissa.



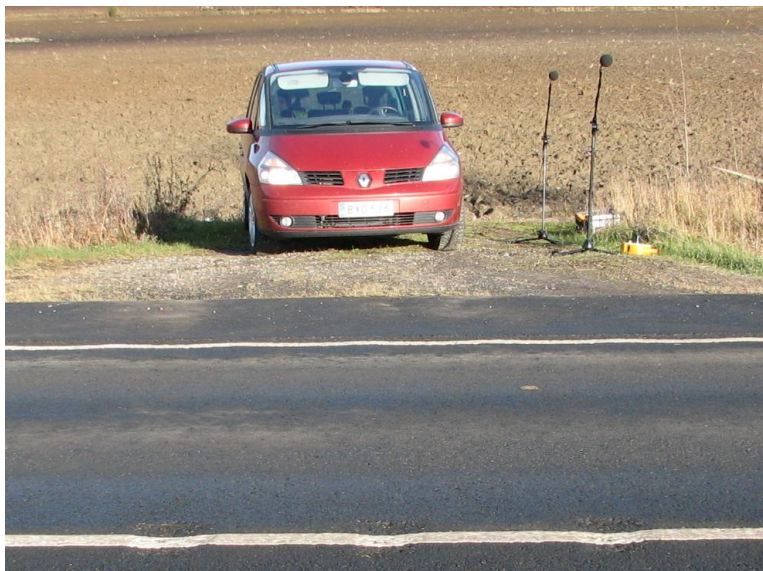
Kuva 311 Ohiajomelumittauksessa käytetty Ford Mondeo



Kuva 32 Ohiajomelumittauksessa käytetty Scania

Ohiajomelun mittauksessa käytettiin kahta eri laitteistoa, joista tarkempi ja kuvassa 33 esitetty koostui seuraavanlaisista komponenteista:

- kaksi kalibroitua mikrofonia: Brüel & Kjær Type 4188
- kaksi mikrofoneihin yhdistettyä mikrofoni vahvistinta: Brüel & Kjær Type 2671
- tiedonkeruumoduuli: National Instruments ENET-9234
- kannettava tietokone
- mikrofoni tuulisuojat sekä tarpeelliset liitäntäkaapelit.



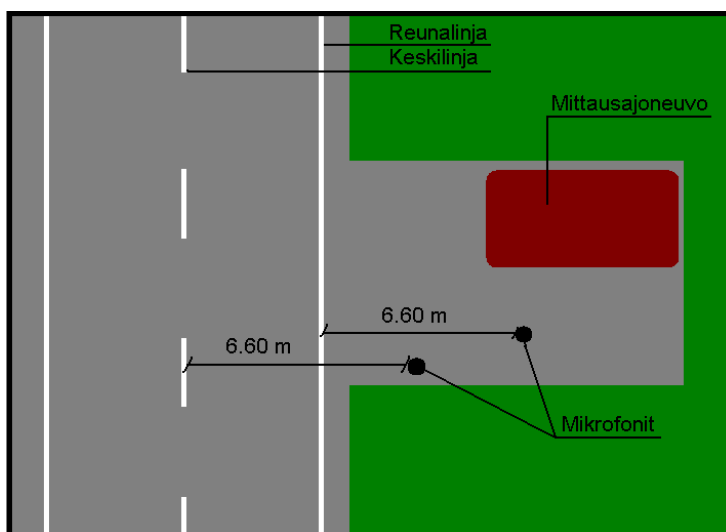
Kuva 33 Ohiajomelun mittauslaitteistoa valtatiellä 24

Edellä esiteltyssä kahden mikrofoniin laitteistossa mahdollinen signaalin taajuuspainotus tapahtui ohjelmallisesti tietokoneella. Mikrofoneille ei ollut mahdollista eikä tarvetta valita painotusta erikseen. Molemmat signaalit painotettiin

samalla tavalla A-taajuuspainotuksilla. Tietokoneissa käytetyt ohjelmat oli kehitetty Aalto-yliopistossa. Tällä laitteella saatiin tulokset tietokoneen muistiin.

Kahden mikrofonin laitteiston lisäksi ohiajomelun mittauksessa käytettiin myös yhden mikrofonin laitteistoa. Tämä laitteisto antoi melumittaustulokset heti. Tulokset otettiin käsin ylös paperille. Laitteella vain seurattiin paikan päällä mittausten onnistumista. Tämän takia vain kahden mikrofonin laitteiston mittaustulokset esitellään tässä työssä ja niitä käytetään myös tuloksia analysoitaessa. Ohiajomelua mitattiin kahtena eri päivänä ensimmäisessä koekohteessa ja yhtenä päivänä toisessa koekohteessa. Ensimmäisessä kohteessa käytettiin jälkimmäisenä päivänä pelkästään kahden mikrofonin laitetta, kuten myös toisessa koekohteessa.

Molemmissa kohteissa kahden mikrofonin laitteiston mikrofonit sijoitettiin kaikissa mittauksissa siten, että niiden etäisyys ohiajavan auton keskilinjasta oli 7,5 m ja kun käytetty auto (Mondeo) oli 1,8 m leveä, täytyi mikrofoni asettaa aina 6,6 m päähän merkinnän linjasta. Mikrofonin etäisyys maanpinnasta oli 1,2 m. Toinen mikrofoni mittasi reunalinjan jyrsinän aiheuttavaa melua ja toinen taas keskilinjan jyrsinän aiheuttavaa melua kuten kuvassa 34. Mitattaessa pelkän päällysteen aiheuttamaa melua siirrettiin toinen mikrofoneista 7,5 m päähän lähemmän kaistan keskilinjasta. Laitteen mikrofoni sijaitsi 1,2 m korkeudella sekä 7,5 m etäisyydellä reunalinjasta ja aina samassa kohdassa 70 ja 80 km/h mittauksissa. Ensimmäisen kohteen 90 ja 100 km/h mittauksissa ja toisen kohteen mittauksissa laitetta ei käytetty.



Kuva 34 Ohiajomelun mittausasetelma

Sisämelua mitattiin samalla laitteella kuin ohiajomeluakin ja vain ensimmäisessä (vt 9) kohteessa. Laitteen mikrofoni sijaitsi pään korkeudella etupenkkien välissä, suunnilleen samassa tasossa kuin kuljettajan korvat. Mittauksia tehtiin neljällä eri nopeudella 70 km/h, 80 km/h, 90 km/h ja 100 km/h. Mittausaikana pidettiin kymmentä sekuntia. Auton renkaan tuli siis olla 10 sekuntia jysrintämerkinnän päällä. Näitä kymmenen sekunnin jaksoja mitattiin jokaisella eri nopeudella tasavälijysrintämerkinnän kohdalta kuten myös pelkän päällysteen kohdalta niin monta kertaa, että saatiin kaksi onnistunutta mittausta kummallekin. Siniaaltojysrintämerkinnästä onnistuneita mittauksia tuli neljä per nopeus kaksi Drop-On Line kohdasta ja kaksi yhtenäisestä merkinnästä. Yhteensä onnistuneita mittauksia tuli siis 32.

Sisämelua mitattaessa ajettiin tasavälijysrintämerkinnän päällä auton vasemman puolen renkailla ja siniaallonmuotoisen jysrintämerkinnän päällä taas auton oikean puolen renkailla. Syy tähän oli se, että tasavälijysrintämerkintää oli tehty koekohteessa 1 vain tien keskiviivan kohdalle ja siniaallonmuotoista jysrintämerkintää tien reunalinjalle.

5.2.2 Tärinämittaukset

Tärinää ja auton sisälle kantautuvaa melua mitattiin yhtä aikaa, joten myös tärinää mitattiin vain kohteessa 1. Kymmenen sekunnin mittauksia tuli siis yhtä paljon kuin sisämelumittauksia. Mittaus suoritettiin kiihtyvyysantureilla (IC Sensors model 3145, mittausalue +/- 2 g). Anturit oli kiinnitetty etumatkustajan penkin kiskoon ja kojelautaan kuvan 35 mukaisesti. Kiihtyvyysantureihin ja laitteeseen DI-194RS (valmistaja: DATAQ Instruments) otettiin virtaa erillisestä akusta. Anturit olivat yhteydessä kaapeleilla laitteeseen DI-194RS, joka taas puolestaan oli kiinnitetty kannettavan tietokoneen kaapelilla COM-porttiin. Kannettavalle tietokoneelle otettiin virtaa auton akusta tupakansytyttimen liitäntään liitetyllä invertterillä. Kannettavassa tietokoneessa olevalla ohjelmistolla (WINDAQ) otettiin talteen antureiden lähettämät tiedot. Lisäksi ohjelmistolla pystyttiin muuttamaan antureilta tuleva tieto tekstimuotoon, näin se pystyttiin lukemaan ja käsittelemään Excel-taulukko-ohjelmalla.



Kuva 35 Tärinämittauslaitteistoa, anturit ympyröity punaisella

5.2.3 Paluuheijastavuusmittaukset

Paluuheijastavuusmittaukset tehtiin pistemittauksina ja mittausta on esitetty kuvissa 36 ja 37. Mittauslaitteena käytettiin samaa laitetta kuin pistemäisissä paluuheijastavuusmittauksissa luvussa 3. Mittaukset suoritettiin SFS-EN 1436 + A1 standardin mukaan. Märkäpaluuheijastavuusmittauksissa kaadettiin kolme litraa vettä 30 cm korkeudelta merkinnän päälle ja kaatamisen loputtua odotettiin $1 \text{ min} \pm 5 \text{ s}$, kunnes arvo mitattiin.



Kuva 36 Märkäpaluumittauksen valmistelua



Kuva 37 Märkäpaluuheijastavuuden mittauslaitteistoa

Sää oli paluuheijastavuusmittauspäivänä poutainen ja puolipilvinen. Ilman lämpötila oli 25 - 30 C° ja tienpinnan lämpötila n. 30 C°. Paluuheijastavuusmittaukset tehtiin, kun Drop-On Line-merkintöjen tekemisestä oli kulunut noin kuukausi ja sileämerkintöjen tekemisestä jo yli kuukausi. Mittausstandardi ei ota kantaa millaisella säällä märkäpaluuheijastavuus tulisi mitata. Näissä mittauksissa suhteellisen lämmin ja pilvetön sää sekä lämmin tienpinta ovat todennäköisesti hieman nopeuttaneet veden haihtumista (Nordström 2010).

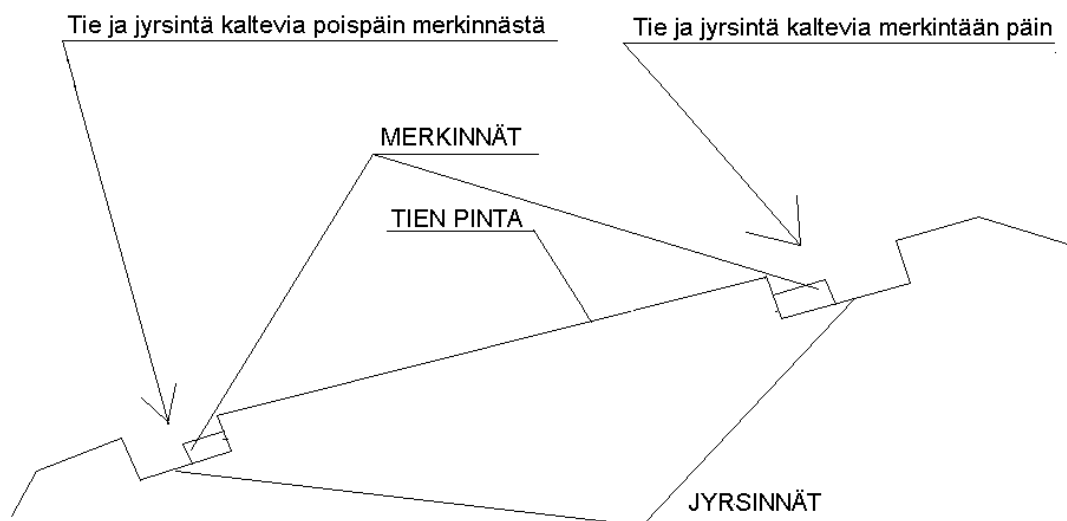
Paluuheijastavuudet mitattiin kokeilukohteesta yhteensä 45 pisteessä. Jokaisesta pisteestä mitattiin märkä- ja kuivapaluuheijastavuusarvot. Mittauspisteet valittiin siten, että saatiin vesitynnyri mahdollisimman lähelle mittauspisteitä. Autokin täytyi saada

turvallisesti pois tieltä, joten mittauspisteet sijaitsivat lähinnä liittymien ja bussipysäkkien läheisyydessä. Liittymäkohdissa ei tien pituuskaltevuus saa yleensä olla suunnitteluohjeiden mukaan korkea, joten mittauspisteissäkään ei tien pituuskaltevuutta ollut paljon. Taulukossa 16 on tässä tutkimuksessa käytettyjen paluuheijastavuusmittauspisteiden lukumäärät eri tilanteissa. Sarakkeessa "merkintä" on selitetty, minkälainen merkintä mittauspisteissä oli. *Sileä* tarkoittaa sileää merkintää ja *Drop* puolestaan Drop-On Line-merkintää. Taulukon sarake "kohta" kertoo puolestaan sijaitsiko piste siniaallonmuotoisen jyrksinnän harjalla tai pohjalla vai tien pinnalla. Sarake "kaltevuus" viittaa tien sivukaltevuuteen ja visuaalisen merkinnän sijaintiin jyrksinnässä. Tämä on selitetty seuraavassa kappaleessa.

Taulukko 16 Kokeilukohteen paluuheijastavuusmittaukset

Paluuheijastavuusmittaukset			
Pisteitä	Merkintä	Kohta	Kaltevuus
6	Sileä	harja	päin
6	Sileä	harja	pois
2	Sileä	pohja	päin
2	Sileä	pohja	pois
5	Drop	harja	päin
6	Drop	harja	pois
2	Drop	pohja	päin
2	Drop	pohja	pois
8	Sileä	pinta	
6	Drop	pinta	

Drop-On Line-merkinnän ja sileän merkinnän paluuheijastavuudet mitattiin sekä siniaallonmuotoiseen jyrksintään että jyrksimättömään tienpintaan tehdyistä merkinnöistä. Sinimuotoisen jyrksinnän pohjalta ja harjalta mitattiin arvot niin Drop-On Line:sta kuin tavallisesta merkinnästä. Koska heijastava merkintä sijaitsi vain sinijyrksinnän toisella reunalla, mitattiin paluuheijastavuuksia kahdessa eri tilanteessa tien poikkileikkauksessa, silloin kun jyrksintä ja tie olivat kaltevia merkintään päin ja silloin kun ne olivat kaltevia merkinnästä poispäin. Kuvassa 38 on esitetty molemmat tilanteet. Kuva ei ole mittakaavassa.



Kuva 38 Havainnekuva eri mittaustilanteista

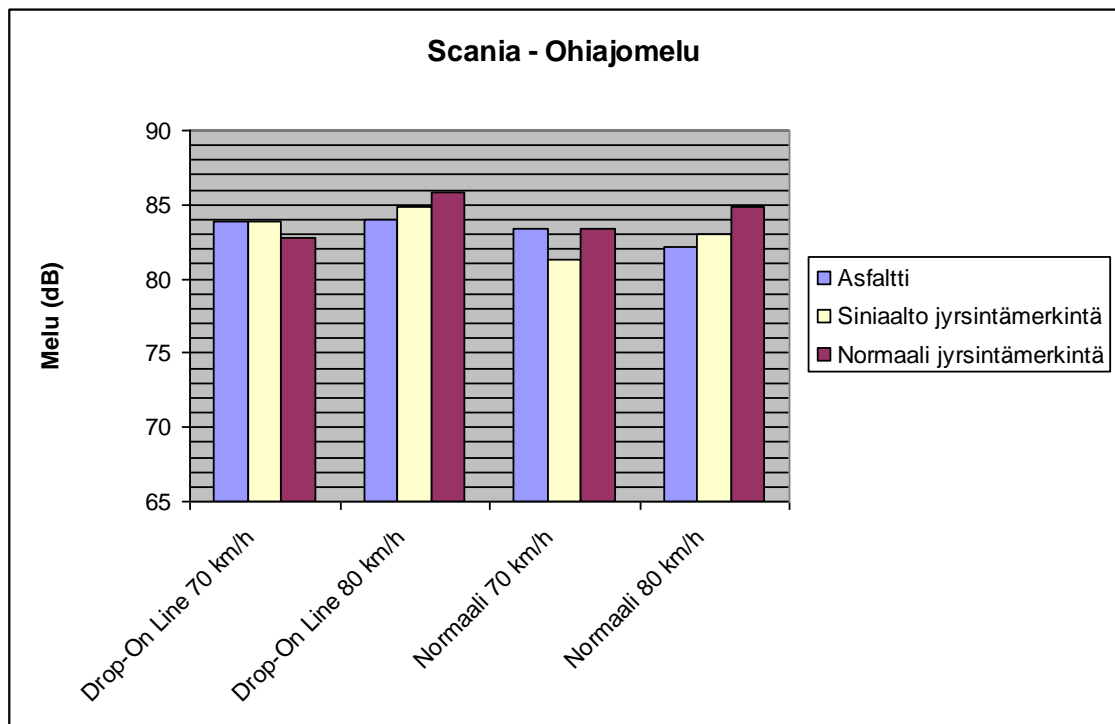
5.3 Tulokset

5.3.1 Melumittaukset

Kuvista 41 ja 43 nähdään kuinka paljon henkilöauto aiheutti maksimissaan melua eri nopeuksilla ja eri kohteissa ja kuvassa 39 esitetään kuorma-auton vastaavat tulokset. Kuvaajista nähdään myös pelkästään päällysteellä ajettuna ajoneuvojen aiheuttaman melun minimiarvo. Minimiarvo kuvaa paremmin kuin maksimiarvo ja mittausten keskiarvo päällysteellä syntyvää melua, koska mittauksen aikana oli hyvin paljon liikennettä. Muu liikenne aiheutti taustamelua ja se on voinut vaikuttaa ohiajomelun mittaustuloksiin. Melumäärän lisäyksellä tarkoitetaan tärinämerkinnän ja profiloidun merkinnän lisäämää melua verrattuna pelkän tiepäällysteen aiheuttamaan meluun.

Kuvasta 39 nähdään kuorma-auton ohiajomelumittausten tulokset. Pelkästään päällysteellä (kuvaajassa asfaltti) kuorma-auto aiheutti 82,2 - 84 dB(A) melun. Kun nopeus oli 70km/h, mitattiin siniaalto- ja sileämerkintäyhdistelmälle maksimimeluksi 81,3 dB(A). Siniaalto- ja Drop-On Line profilimerkinnän maksimimelu oli 83,8 dB(A) nopeudella 70 km/h. Samalla nopeudella päällysteen melutaso oli 83 - 84 dB(A) tietämällä. Tärinämerkinnät eivät siis lisänneet melua kuorma-autolla 70 km/h

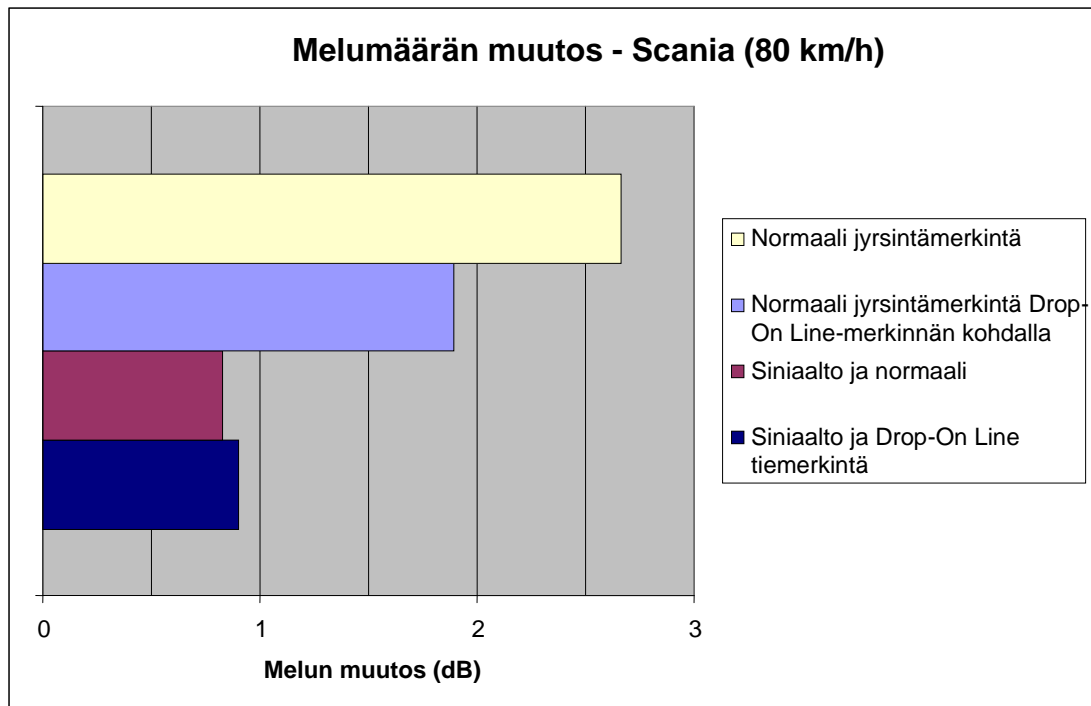
nopeudella ja sen takia myös kuvassa 40 on esitetty melumuutokset pelkästään nopeudella 80 km/h.



Kuva 39 Ohiajomelumittauksen tulokset kuorma-autolla

Kun nopeus oli 80 km/h, kuorma-autolla saatiin päällysteen ohiajomeluksi Drop-On Line-kohteessa 84 dB(A) ja sileän merkinnän kohteessa 82,2 dB(A). Drop-On Line-kohteessa tasavälijysintämerkinnän aiheuttama maksimimelu oli 85,9 dB(A) ja siniaaltojysintämerkinnän aiheuttama maksimimelu oli 84,9 dB(A). Vastaavasti sileän merkinnän kohteessa tasavälijysintämerkinnän aiheuttama maksimimelu oli 84,9dB(A) ja siniaaltojysintämerkinnän aiheuttama maksimimelu oli 83 dB(A). Molemmissa kohteissa tasavälijysintämerkintä tuotti suurimman ohiajomelun, kun nopeus oli 80 km/h.

Kuorma-autolla 80 km/h nopeudella siniaaltoinen jysintämerkintä aiheutti 0,8 dB(A) kasvun ohiajomeluun, kun sitä verrattiin pelkän päällysteen aiheuttamaan ohiajomeluun. Drop-On Line-merkintä lisäsi ohiajomelua siniaaltojysintämerkinnän lisänä vain 0,1 dB(A). Mittausten mukaan tasavälijysintämerkintä lisäsi vastaavasti melua 1,9 - 2,7 dB(A). Kuvassa 40 on myös esitetty nämä tulokset.



Kuva 40 Tuloksista lasketut melumäärän muutokset kuorma-autolla

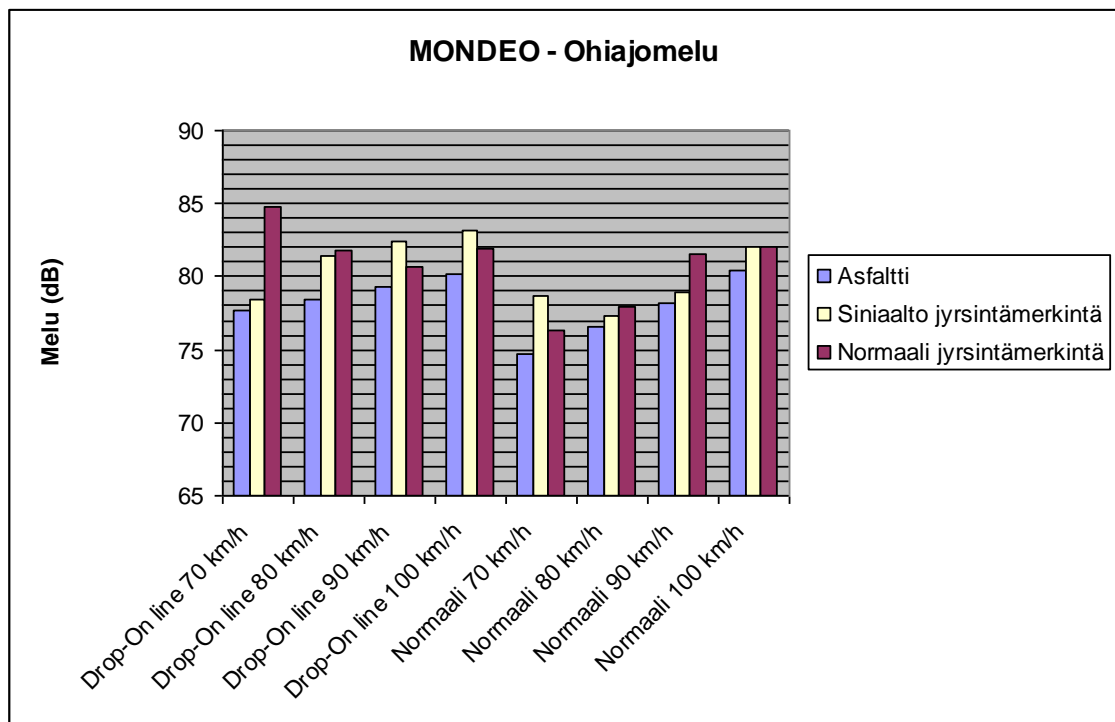
Henkilöautolla mitattiin ohiajomelua neljällä nopeudella. Nopeudet olivat 70, 80, 90 ja 100 km/h. Näillä nopeuksilla on kuvassa 41 esitetty ohiajomelumittausten tulokset ja kuvassa 42 ohiajomelumäärien muutokset verrattuina päällysteen aiheuttamaan meluun. Ohiajomelumittausten tulokset ja vertailu päällysteeseen on myös esitetty taulukossa 17.

Taulukko 17 Ohiajomelumittausten tulokset valtatiellä 9

Kohde ja nopeus	Ohiajomelu (dB)			Erotus (dB)	
	Päällyste	Siniaalto	Tasaväli	Siniaalto	Tasaväli
Drop-On line 70 km/h	77,7	78,4	84,8	0,7	7,1
Drop-On line 80 km/h	78,4	81,5	81,8	3,1	3,4
Drop-On line 90 km/h	79,3	82,5	80,7	3,1	1,4
Drop-On line 100 km/h	80,2	83,1	81,9	2,9	1,7
Normaali 70 km/h	74,7	78,7	76,7	4,1	2,0
Normaali 80 km/h	76,5	77,3	78,0	0,8	1,4
Normaali 90 km/h	78,2	78,9	81,6	0,8	3,4
Normaali 100 km/h	80,4	82,0	82,1	1,6	1,7

Drop-On Line-mittauskohteessa siniaallonmuotoisen jysintämerkinnän ja Drop-On Line-merkinnän yhdistelmä tuotti suurimman ohiajomelun 90 ja 100 km/h nopeuksilla, kun taas tasavälijysintämerkintä tuotti suurimman ohiajomelun 70 ja 80 km/h nopeuksilla. Sileä-mittauskohteessa siniaallonmuotoinen jysintämerkintä tuotti suurimman ohiajomelun ainoastaan nopeudella 70 km/h. Muuten tasaväli-

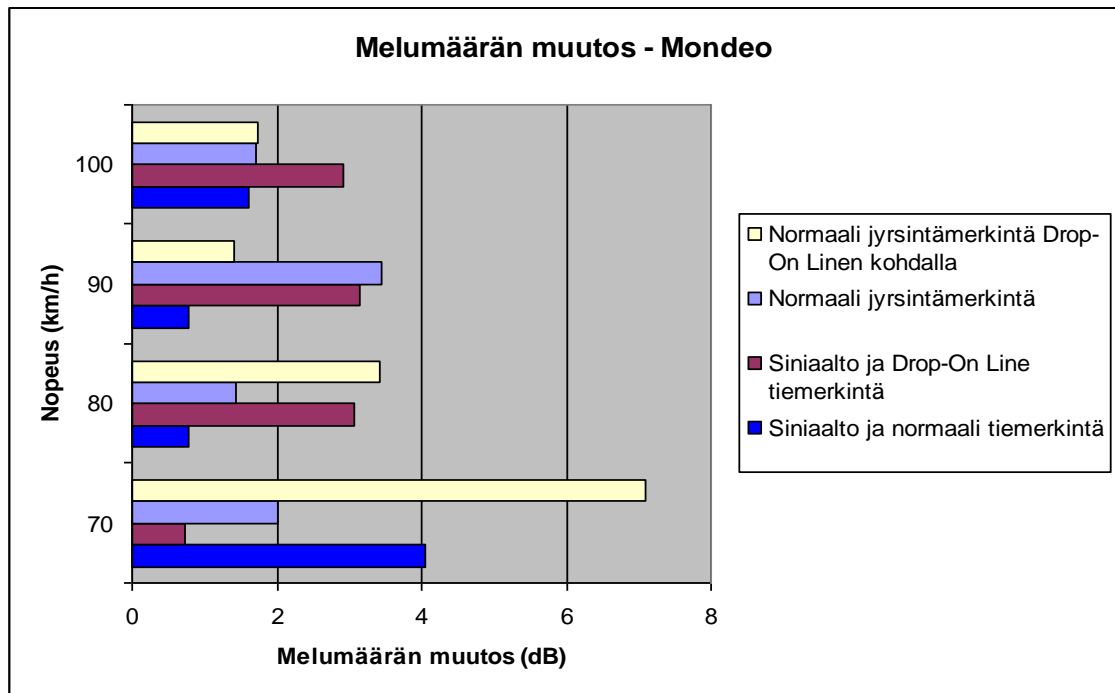
jyrsintämerkintä oli meluisampi, vaikkakin 100 km/h nopeudella ohiajomelut olivat jyrsintämerkinnöillä melkein samat.



Kuva 41 Ohiajomelumittauksen tulokset henkilöautolla

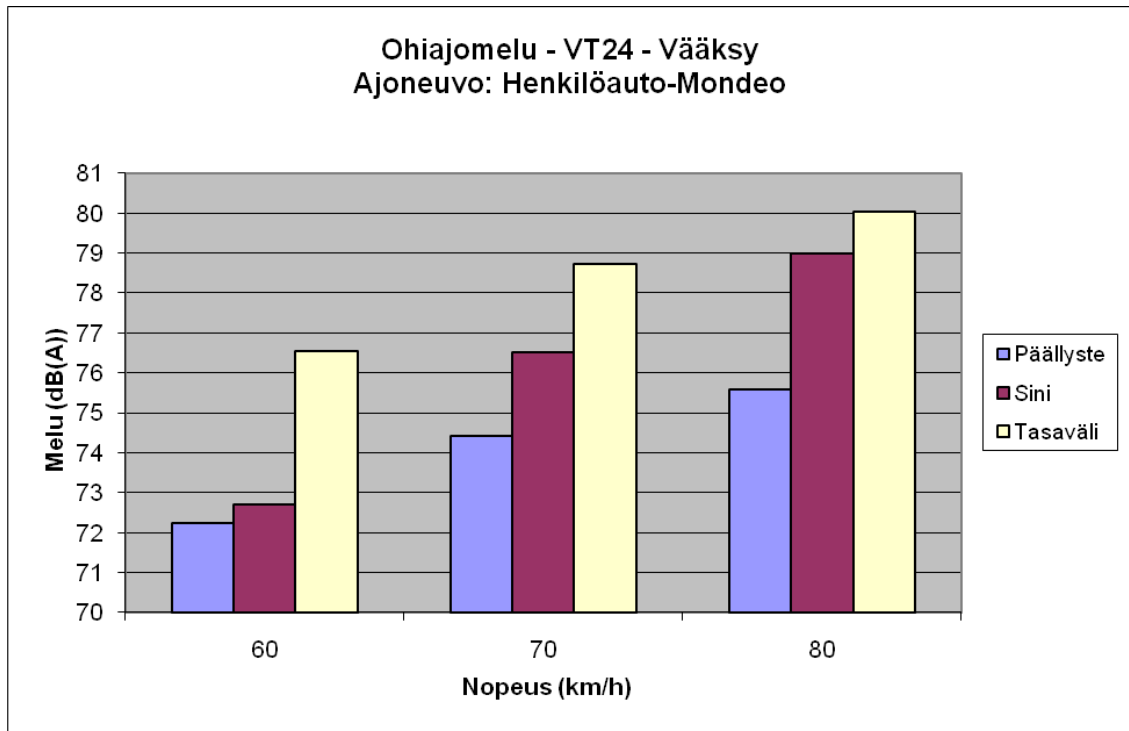
Molemmissa kohteissa vain päällysteen melu kasvoi lineaarisesti nopeuden noustessa. Molemmissa kohteissa siniaallonmuotoisesta jyrsintämerkinnästä saadut tulokset, paitsi 70 km/h mittauksen tulos, kasvoivat myös lineaarisesti nopeuden mukaan. Sileäkohteessa myös tasavälijyrsintämerkinnän aiheuttama melu kasvoi suhteellisen lineaarisesti, mutta Drop-On Line kohteessa melun muutos oli epälineaarista ja samalla myös hyvin erikoista. Toisin kuin kuorma-autolla, henkilöautolla myös 70 km/h nopeudella molempien jyrsintämerkintöjen aiheuttama maksimimelu oli korkeampi kuin pelkän päällysteen aiheuttama melu.

Ohiajomelun lisäys eli melumäärän muutos henkilöautolla kuvaa sitä, kuinka suuri oli tärinämerkinnästä mitatun melun ja päällysteestä mitatun melun erotus. Tämä melun lisäys on esitetty erilaisilla nopeuksilla ja erilaisilla jyrsintämerkinnöillä kuvassa 42. Kuvasta nähdään, että tasavälijyrsintämerkintä lisäsi melua siniaallonmuotoista jyrsintämerkintää enemmän. Kun siniaallonmuotoiseen jyrsintämerkintään lisättiin profiloitu Drop-On Line-merkintä, oli melumäärän lisäys vain hieman pienempi nopeuksilla 80 ja 90 km/h ja jopa suurempi nopeudella 100 km/h kuin tasavälijyrsintämerkinnällä.

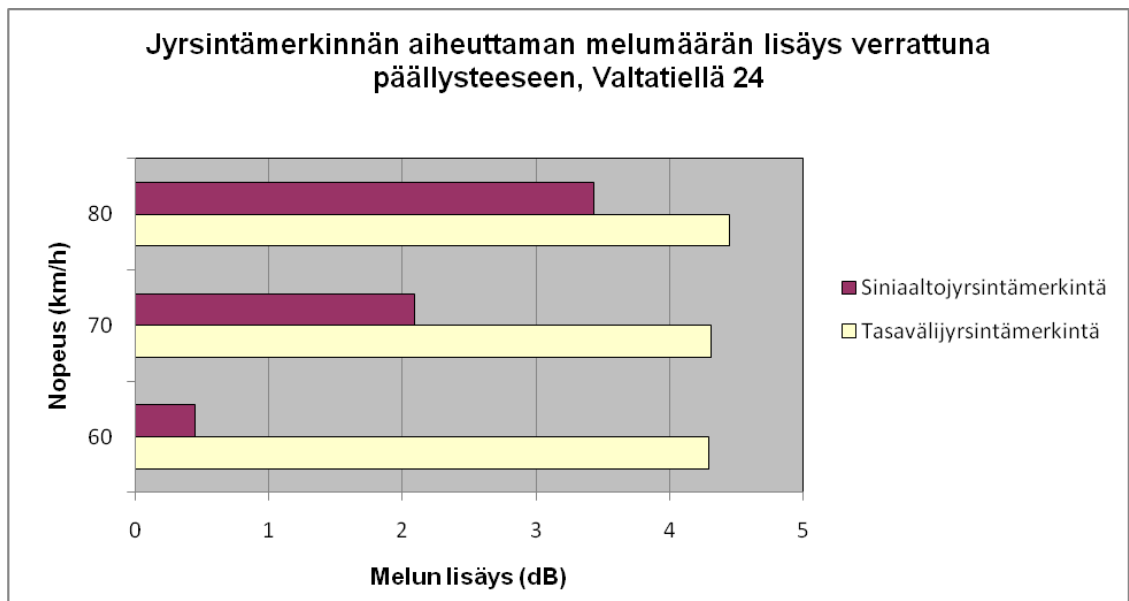


Kuva 42 Ohiajomelumittauksen tuloksista lasketut melumäärän muutokset henkilöautolla

Asikkalassa valtatiellä 24 tehtyjen ohiajomelumittauksen tulokset on esitetty kuvassa 43. Kuvassa mitatut jysintämerkintöjen melut olivat maksimimeluja ja päällysteen melut minimimeluja. Tuloksien mukaan siniaallonmuotoinen jysintämerkintä aiheutti vähemmän melua kuin tasavälijysintämerkintä. Mittausten mukaan ohiajomelu lisääntyi tasaisesti nopeuden suhteen kaikissa tilanteissa. Ohiajomelun lisäys päällysteen aiheuttamaan meluun verrattuna oli tasavälijysintämerkinnällä melkein sama kaikissa nopeuksissa, mutta siniaallonmuotoisella jysintämerkinnällä lisäys kasvoi melkein lineaarisesti nopeuden kasvaessa. Kuvasta 44 nähdään jysintämerkintöjen aiheuttaman melun ja päällysteen aiheuttaman melun erotus valtatiellä 24.



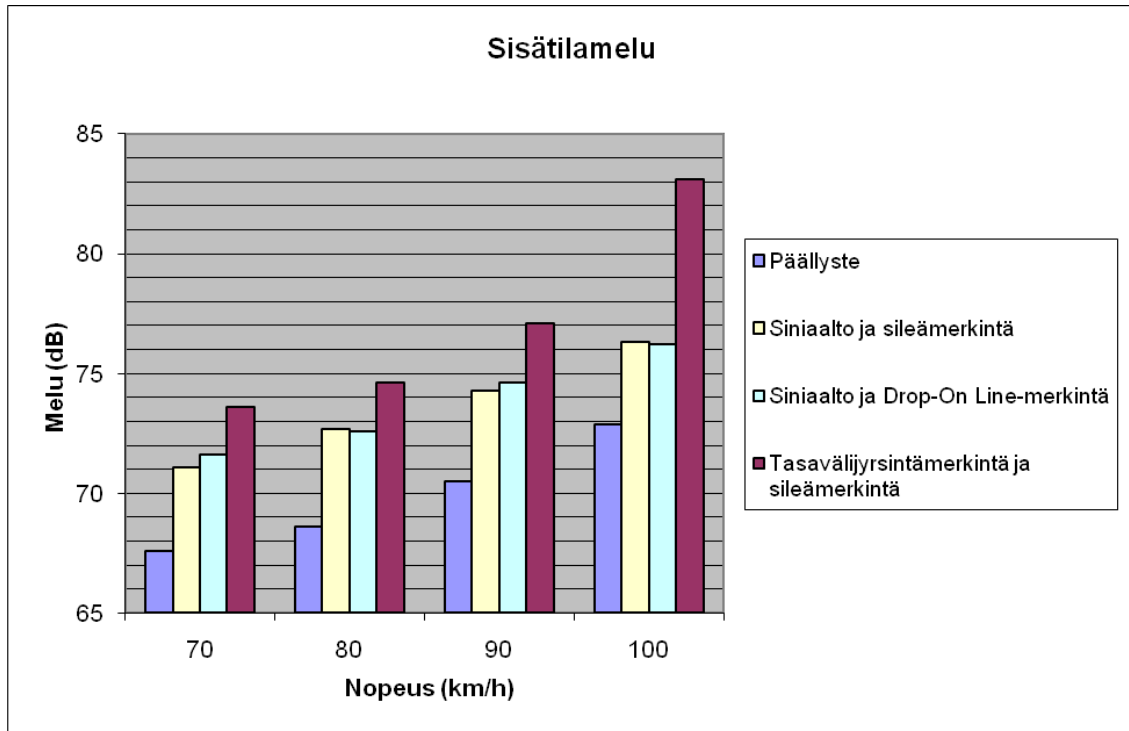
Kuva 43 Ohiajomelumittauksen tulokset valtatiellä 24



Kuva 44 Melun lisäykset valtatiellä 24

Sisämelumittauksien tulokset on esitetty kuvassa 45. Melumäärän lisäys tien päälysteeseen verrattuna auton sisällä on esitetty kuvassa 46. Sisämelumittaus oli helpompaa verrattuna ohiajomeluun, koska häiritseviä melulähteitä oli huomattavasti vähemmän. Ohiajavista autoista vain suuret kuorma-autot aiheuttivat häiriötä melunmittaukseen. Sisämelua mitattiin myös neljällä eri nopeudella kuten ohiajomeluakin. Nopeudet olivat samat kuin ohiajomelumittauksissa käytetyt. Kuten kuvasta 45 nähdään, tulokset käyttäytyivät hyvin lineaarisesti nopeuteen verrattuina.

Maksimimelua käytettiin kuvaamaan palautetta antavien merkintöjen tuottamaa sisämelua samoista syistä kuin ohiajomelua edellä. Minimimelua käytettiin kuvaamaan päällysteen aiheuttamaa melua myös samoista syistä kuin ohiajomelunkin kuvaamiseen.



Kuva 45 Sisämelumittauksen tulokset

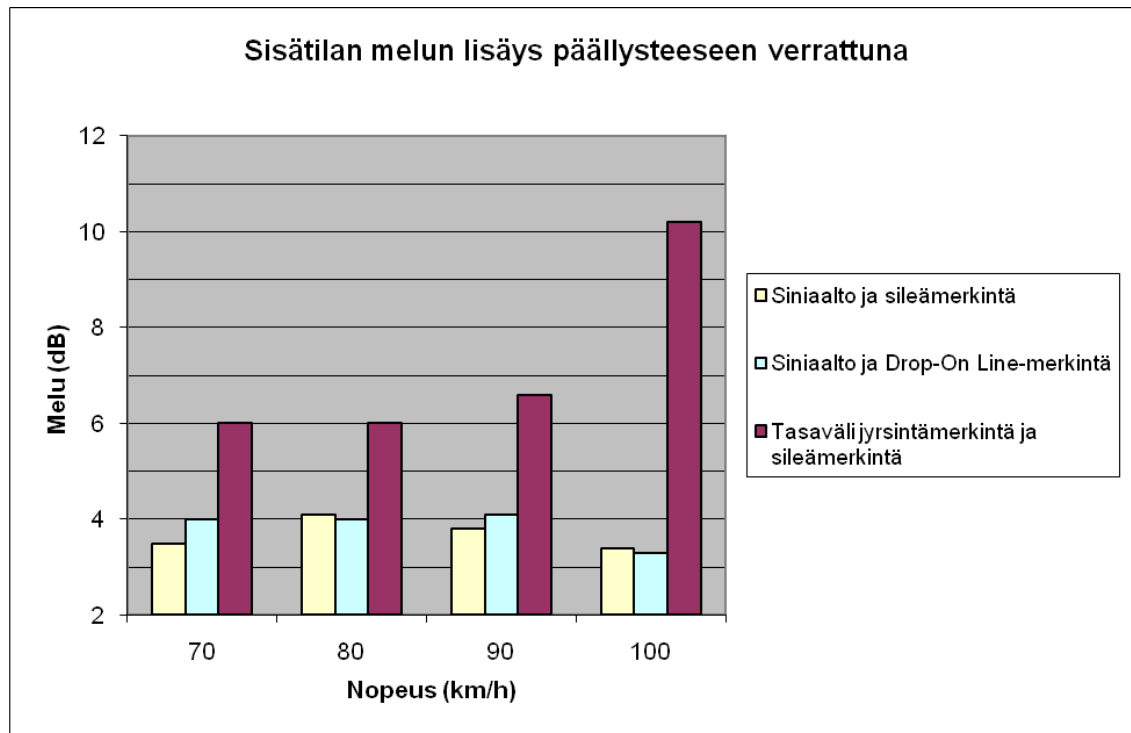
Pelkästään ajokaistan keskellä päällysteellä ajettaessa saatiin sisämelun voimakkuudeksi eri nopeuksilla taulukon 18 mukaiset tulokset. Siniaallonmuotoisen jysintämerkinnän sisämelutulokset olivat melkein samat sileällä merkinnällä ja profiloidulla Drop-On Line-merkinnällä. Erot olivat hyvin pienet, maksimissaan 0,5 dB.

Taulukko 18 Sisämelumittauksen tulokset

Sisämelu				
Nopeus (km/h)	Päällyste (dB)	Siniaalto (dB)		Tasaväli (dB)
		Sileä	Drop-On Line	
70	67,6	71,1	71,6	73,6
80	68,6	72,7	72,6	74,6
90	70,5	74,3	74,6	77,1
100	72,9	76,3	76,2	83,1

Kuvassa 46 on esitetty sisämelun lisäykset eri merkinnöillä eri nopeuksilla. Tasavälilyrsintämerkintä aiheutti voimakkaimman maksimimelun lisäksi suurimman lisäyksen sisämeluun. Siniaallonmuotoisessa jysintämerkinnässä sileällä merkinnällä

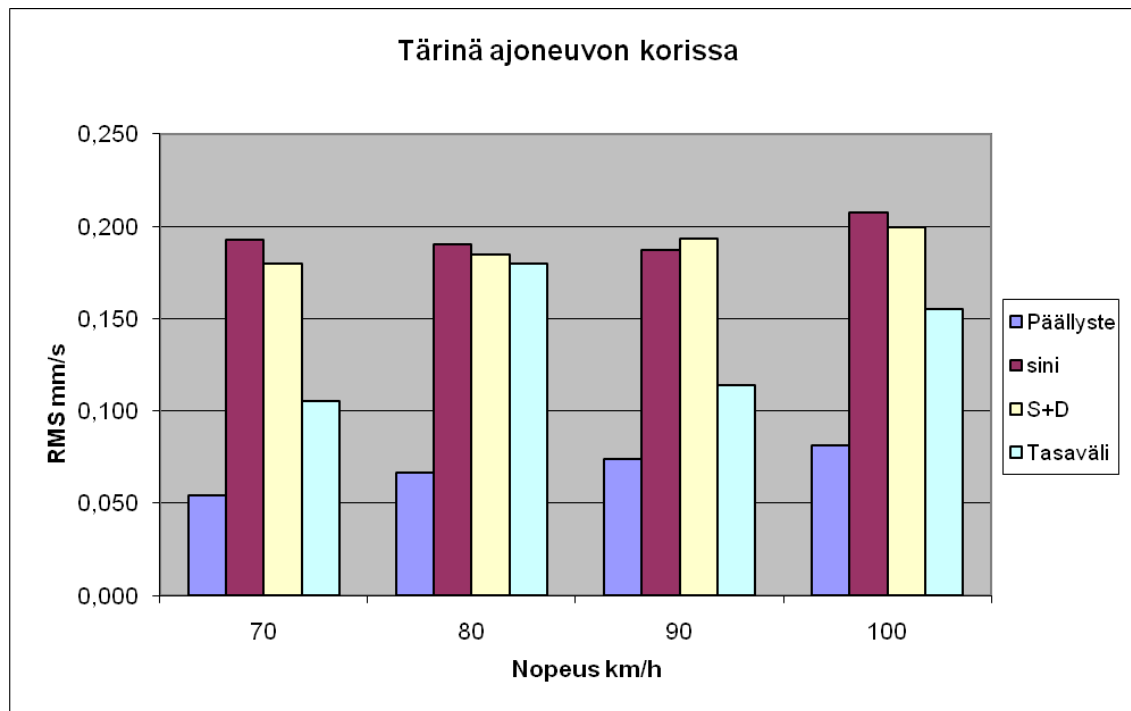
tai vastaavasti Drop-On Line-merkinnällä ei ollut juurikaan eroa sisätilamelun lisäykseen. Molemmista aiheutui suunnilleen sama melun lisäys. Ainoastaan 70 km/h nopeudella Drop-On Line antoi 0,5 dB(A) suuremman melun lisäyksen, muuten erot ovat alle 0,4 dB(A).



Kuva 46 Mittauksien mukainen sisätilamelun lisäys

5.3.2 Tärinämittaukset

Tärinästä saadut tulokset on esitetty kuvissa 47 - 50. Kuvissa 47 ja 48 ovat tulokset mittauksista, joissa henkilöauton koriin oli kiinnitetty anturi ja kuvissa 49 ja 50 ovat vastaavasti tulokset mittauksista, joissa henkilöauton kojetauluun oli kiinnitetty anturi. Taulukoissa on esitetty eri nopeuksilla ja eri tapauksilla kiihtyvyyden tehollisen arvon (mm/s rms) keskiarvo. Keskiarvo on kuuden tuloksen keskiarvo ja jokainen erillinen tulos laskettiin sekunnin mittaiselta ajalta.

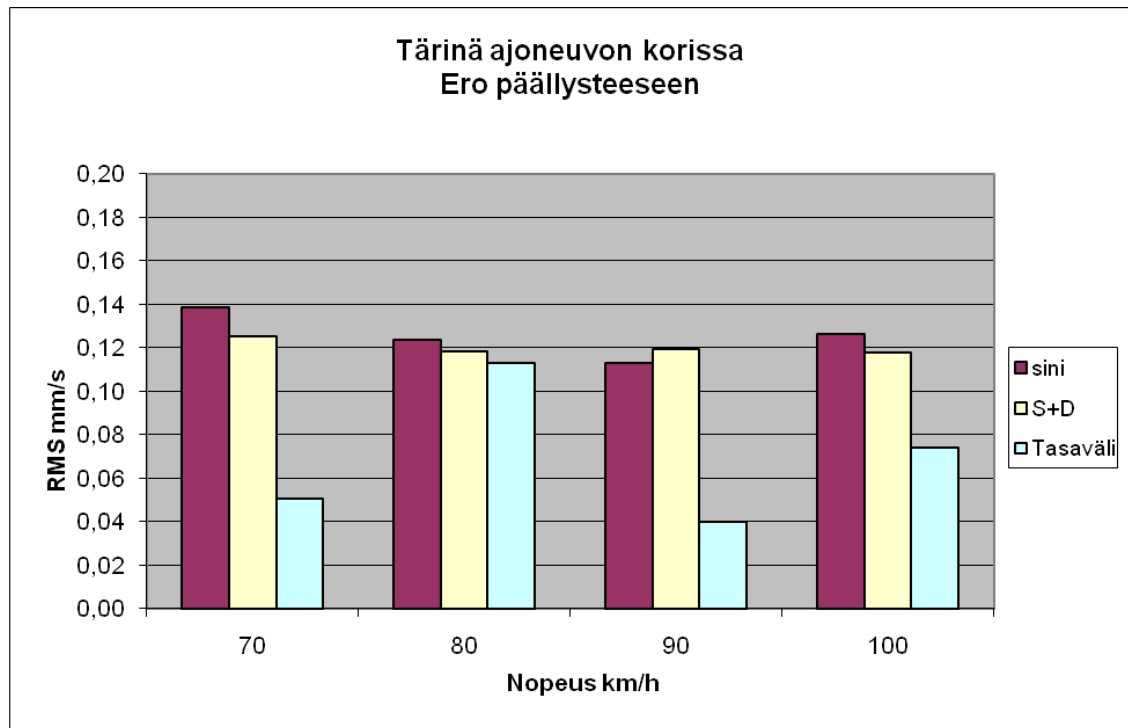


Kuva 47 Ajoneuvon korista mitattu tärinä

Ajoneuvon korista mitatun tärinän voimakkuus kasvoi nopeuden kasvaessa. Ainoastaan tasavälilyrsintämerkinnän osalta 80 km/h nopeudessa poikettiin tästä trendistä. Pelkästään normaalisti tienpintaa ajamalla mitattu tärinä oli nopeudella 70 km/h 0,055 mm/s rms. Se kasvoi tasaisesti ja saavutti nopeudessa 100 km/h arvon 0,082 mm/s. Siniaallonmuotoisen jysintämerkinnän ja sileän merkinnän yhdistelmässä nopeudesta 70 km/h aina nopeuteen 90 km/h asti oli tulos noin 0,19 mm/s ja 100 km/h nopeudella noin 0,21 mm/s. Drop-On Line-merkinnällä varustetulla siniaallonmuotoisella jysintämerkinnällä 70 km/h nopeudessa saatiin tulokseksi 0,18 mm/s ja kasvu oli tasaista nopeuden 100 km/h tulokseen 0,20 mm/s. Tasavälilyrsintämerkinnällä tulokset olivat eri nopeuksilla seuraavat: 70 km/h 0,105 mm/s, 80 km/h 0,18 mm/s, 90 km/h 0,114 mm/s ja 100 km/h 0,155 mm/s.

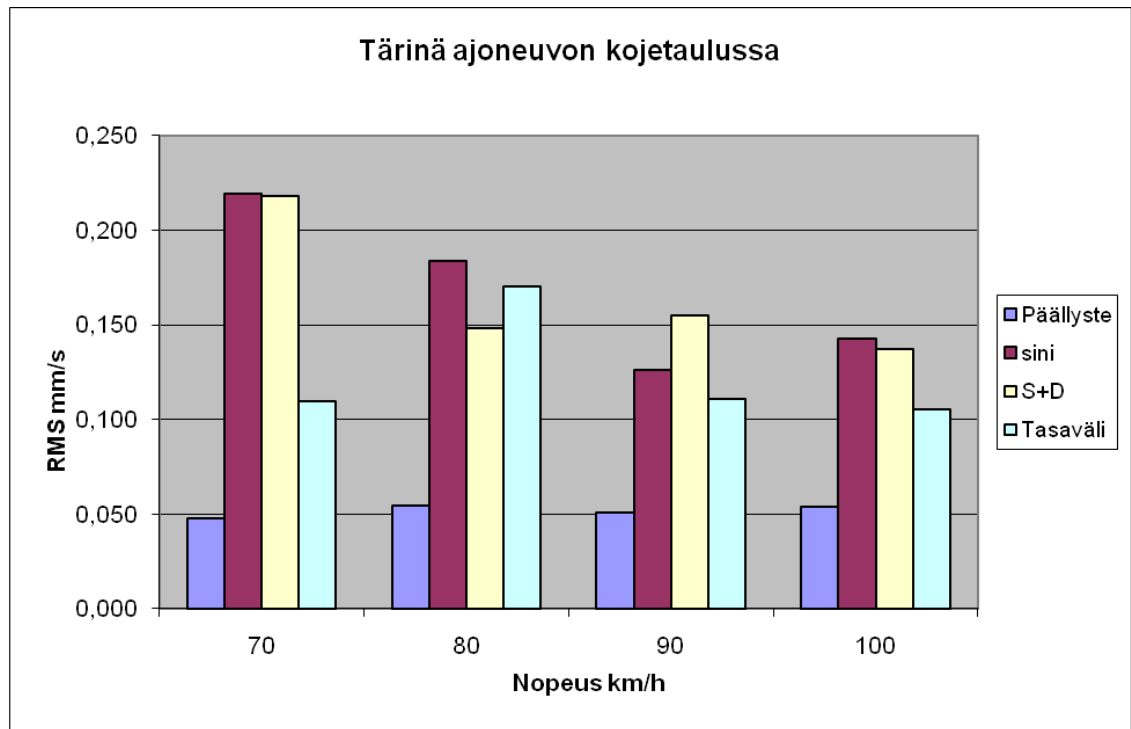
Kuvasta 48 nähdään, kuinka paljon tärinän voimakkuus muuttui ajoneuvon korissa, kun siirryttiin päällysteeltä tärinämerkinnän päälle. Siniaallonmuotoisen jysintämerkinnän aiheuttaman tärinän lisäys oli selvästi suurempi kuin tasavälilyrsintämerkinnän kaikilla muilla nopeuksilla paitsi 80 km/h. Profiloitu Drop-On Line-merkintä ei siniaallonmuotoisessa jysintämerkinnässä lisännyt tärinän voimakkuutta. Lisäys ei kasvanut nopeuden kasvaessa millään tutkituista merkintätyyleistä ja siniaallonmuotoisella jysintämerkinnällä tärinän lisäys oli suurin 70 km/h nopeudella, mutta muissa nopeuksissa lisäys oli suunnilleen sama. Lisäyksen suuruus oli

siniaallonmuotoisella merkinnällä 0,11 mm/s ja 0,14 mm/s välillä ja tasavälimerkinnällä 0,04 mm/s ja 0,08 mm/s välillä, jos ei oteta huomioon 80 km/h tulosta, joka oli 0,113 mm/s.



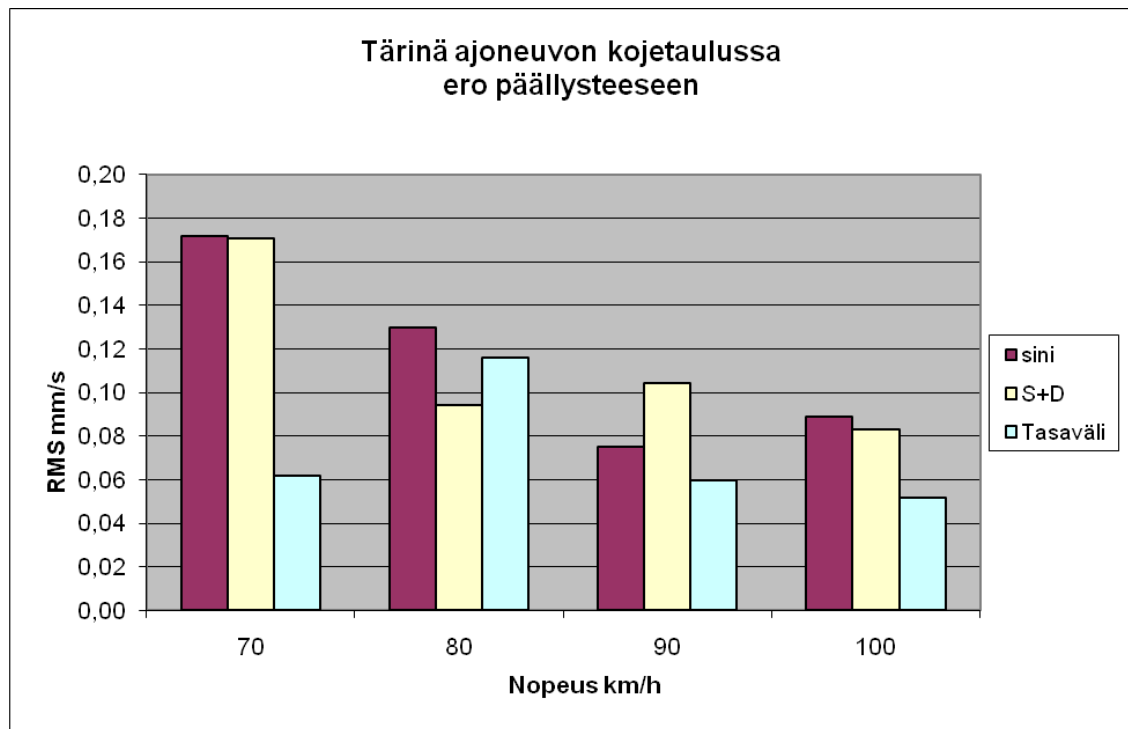
Kuva 48 Päällysteen ja heräte merkintöjen tärinän ero ajoneuvon korista mitattuna

Tärinämittaustulokset ajoneuvon kojetaulusta on esitetty kuvassa 49. Ne olivat samansuuntaisia päällysteen osalta kuin tulokset ajoneuvon korista. Siniaaltoisen jysintämerkinnän mittauksista lasketut tulokset osoittivat tärinän kuitenkin heikkenevän kun nopeus kasvoi. Kun 70 km/h nopeudella oli mm/s rms-arvo 0,22, niin 100 km/h nopeudella saatiin tulokseksi vain 0,14 mm/s. Tasavälijysintämerkinnällä tärinän voimakkuus oli noin 0,11 mm/s, kun mukaan ei lueta 80 km/h nopeudella saatua tärinätulosta 0,17 mm/s. Tulokset kertovat, että myös kojetaulussa siniaallonmuotoinen jysintämerkintä aiheutti voimakkaampaa tärinää kuin tasavälijysintämerkintä ja ettei Drop-On Line:lla ollut vaikutusta tärinän voimakkuuteen.



Kuva 49 Ajoneuvon kojetaulussa mitattu tärinä

Koska tärinän voimakkuus kaistalla ajettaessa nousi, kun nopeus kasvoi ja tärinämerkinnöissä tärinän voimakkuus laski tai pysyi samana nopeuden kasvaessa, niin tärinän lisäys väheni kun nopeus kasvoi. Sama asia huomataan myös kuvassa 49 esitetyistä tuloksista. Siniaallonmuotoisen jysintämerkinnän aiheuttama lisäys laski arvosta 0,17 mm/s alle 0,09 mm/s, kun nopeus nousi seitsemästäkymmenestä sataan kilometriin tunnissa. Tasavälijysintämerkinnällä lasku ei ollut yhtä voimakas. Kun nopeus oli 70 km/h, oli tärinän muutos 0,06 mm/s ja kun nopeus oli 100 km/h, oli tärinän muutos puolestaan 0,05 mm/s. Kuten muistakin tärinän tuloskuvaajista, myös kuvasta 50 huomataan, että 80 km/h nopeudella tasavälijysintämerkinnän aiheuttama tärinän voimakkuuden muutos oli kutakuinkin sama kuin siniaallonmuotoisen. Muuten tasavälijysintämerkintä aiheutti pienemmän muutoksen tärinään.



Kuva 50 Päällysteen ja heräte merkintöjen tärinän ero ajoneuvon kojetaulusta mitattuna

5.3.3 Paluuheijastavuusmittaukset

Taulukossa 19 Merkintä-sarakkeessa Sini tarkoittaa siniaallonmuotoista jysintää ja yhtenäistä valkoista massamerkintää, S+Drop tarkoittaa siniaallonmuotoista jysintää ja Drop-On Line-merkintää ja Norm. tienpinnassa olevaa valkoista massamerkintää. Sarakkeessa "kohta" kerrotaan missä kohdin jysintäjälkeä mittaus tapahtui. KA on lyhenne keskiarvosta ja KH lyhenne keskihajonnasta, joten esimerkiksi KA KUIVA on mitattujen kuivapaluuheijastavuuksien keskiarvo ja KA MÄRKÄ märkäpaluuheijastavuuksien keskiarvo. KA EROTUS on edellä olevien keskiarvojen erotus. Taulukossa 19 esiintyvien keskiarvojen lisäksi on taulukoissa 20 - 21 esitetty lisää laskettuja keskiarvoja. Näissä taulukoissa on käytetty pääosin samoja termejä taulukon 19 kanssa. Kuitenkin taulukossa 21 KA päin tarkoittaa keskiarvoa mittauksissa, joissa jysintä on kalteva merkintään päin ja KA pois taas päinvastoin.

Märkäpaluuheijastavuuteen vaikuttivat hyvin paljon merkinnän muoto ja tien kaltevuudet. Taulukon 19 keskiarvoista huomataan, että profiloidun Drop-On Line-merkinnän märkäpaluuheijastavuus oli parempi kuin sileän merkinnän, koska sen pinnalta vesi valui pois nopeammin kuin tasaisen merkinnän pinnalta. Tien pinnalla tavallisen merkinnän ja Drop-On Line-merkinnän ero oli jo noin $100 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$. Siniaallonmuotoisessa jysinnässä ero oli pohjalla noin $30 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ ja harjalla noin 70

mcd/m²/lx. Lisäksi taulukoissa 19 ja 20 olevat tulokset kertovat merkintöjen eron olleen noin 70 mcd/m²/lx. Kuivapaluuheijastavuudessa Drop-On Line oli taulukoiden 19 ja 20 mukaan noin 10 mcd/m²/lx heijastavampi kuin sileämerkintä.

Taulukko 19 Mitatut kuiva- ja märkäpaluuheijastavuudet kohteiden mukaan

Paluuheijastavuudet kohdittain (mcd/m ² /lx)							
Määrä	Kohta	Merkintä	KA Kuiva	KH Kuiva	KA Märkä	KH Märkä	KA Erotus
12	harja	Sileä	266,1	46,8	33,2	23,7	232,9
4	pohja	Sileä	247,3	52,1	21,8	24,5	225,5
11	harja	Drop	269,3	28,4	102,1	52,2	167,2
4	pohja	Drop	289,8	39,6	54,0	60,6	235,8
8	pinta	Sileä	245,3	29,7	23,5	12,3	221,8
6	pinta	Drop	248,7	22,0	129,0	8,0	119,7

Taulukko 20 Kuiva- ja märkäpaluuheijastavuudet merkinnöittäin

Paluuheijastavuudet merkinnöittäin (mcd/m ² /lx)						
Määrä	Merkintä	KA Kuiva	KH Kuiva	KA Märkä	KH Märkä	KA Erotus
45	kaikki	261,3	37,4	61,9	52,4	199,4
24	Sileä	256,0	42,2	28,0	20,5	228,0
21	Drop	267,3	31,1	100,6	51,0	166,7

Taulukon 21 tulokset osoittavat, että tien sivukaltevuudella oli merkitystä merkinnän märkäpaluuheijastavuuteen, jos merkintä oli siniaallonmuotoisessa jysintäjäljessä. Varsinkin jysinnän pohjalla ero oli huomattava. Molemmilla tiemerkinnoillä oli jysinnän pohjalla märkäpaluuheijastavuus vain 1, kun jysintä oli kalteva merkintään päin. Kun jysintäjälki oli kalteva merkintään päin, vesi ei päässyt valumaan jysintäjäljestä pois, vaan jäi visuaalisen merkinnän päälle.

Taulukko 21 Sivukaltevuuden vaikutus paluuheijastavuuteen

Märkäpaluuheijastavuus Siniaalto (mcd/m ² /lx)					
Kohta	Merkintä	KA Päin	KH Päin	KA Pois	KH Pois
harja	Sileä	14,7	12,1	51,7	16,4
pohja	Sileä	1,0	0,0	42,5	9,2
harja	Drop	48,4	9,7	146,8	9,0
pohja	Drop	1,5	0,7	106,5	2,1
kaikki	kaikki	22,3	21,8	93,1	48,3

Kuten liitteestä 1 nähdään, täytyisi uusien merkintöjen märkäpaluuheijastavuuden olla arvoltaan yli 50 mcd/m²/lx ja vanhojen merkintöjen arvojen olla yli 35. Drop-On Line-merkintöjen keskiarvot täyttivät kyseisen vaatimuksen, kun taas sileän merkinnän märkäpaluuheijastavuuksien keskiarvot jäivät alle uuden merkinnän vaaditun raja-arvon kaikissa tilanteissa. Vanhan merkinnän raja-arvo täyttyi sileän merkinnän osalta silloin, kun merkintä oli tehty siniaallonmuotoiseen jysintään ja jysintä oli kalteva pois päin heijastavasta merkinnästä.

Kaikkien mittauksien (ohiajo- ja sisämelu, tärinä sekä paluuheijastavuus) tulokset on esitetty kappaleen 5.3 lisäksi myös liitteessä 6.

5.4 Tulosten analysointi

Yhdistelmämerkintäkokeilun ohiajomelun mittaus osoittautui hankalaksi ensimmäisessä kohteessa valtatiellä 9 muun liikenteen takia. Liikennettä oli liikaa, vaikka mittaukset ajoittuivat suurimmalta osin illalle. Mittaaminen vei näistä syistä huomattavan paljon aikaa. Valtatien 9 mittausten tuloksissa saattoi esiintyä muun liikenteen aiheuttamia virheitä. Valtatien 24 mittauksissa liikenne oli maltillisempaa ja mittauksien tulokset olivat luotettavampia. Myös mittauspaikan maasto oli tiellä 24 suotuisampi mittausten kannalta, koska tie oli suorempi ja mittauskohta sijaitsi peltojen keskellä. Lisäksi valtatiellä 24 tehtyjen mittausten aikana sää oli tyyni, joten sääkään ei vaikuttanut tuloksiin. Valtatiellä 24 tehtyjen ohiajomelumittauksien tulokset olivat myös samansuuntaisia aiempien tutkimuksien tuloksien kanssa. Näistä syistä valtatiellä 9 nopeudella 70 km/h siniaallonmuotoiselle jyrinnälle henkilöautolla ajatun mittauksen tulosta voidaan pitää virheellisenä.

Tiellä 24 tehtyjen mittauksien tulokset tukevat Norjassa ja Tanskassa tehtyjä tutkimuksia ja siniaallonmuotoinen jyrinämerkintä aiheuttikin vähemmän ohiajomelua kuin tasavälijyrinämerkintä. Mitä hitaammin ajetaan, sitä suurempi ero oli näiden kahden välillä. Kun ajettiin 60 km/h nopeudella, sini-jyrinä aiheutti todella pienen ympäristömelun lisäyksen. Tämä oli myös tulos Norjassa tehdyssä tutkimuksessa. Tanskassa tehdyn tutkimuksen mukaan nopeudessa 80 km/h melun lisäys oli vain 0,5 - 1 dB, kun taas tässä tutkimuksessa lisäys oli jo yli 3 dB. Tanskassa merkintä oli tehty 22 vuotta vanhaan päällysteeseen (Vejdirektoratet 2007). Vanha päällyste aiheuttaa jo pelkästään enemmän melua kuin uusi, joten se on voinut vaikuttaa tutkimuksen tulokseen.

Ohiajomelun mittaustavat vaihtelevat eri tutkimuksissa. Tanskassa on ohiajomelua mitattu esimerkiksi keskilinjasta siten, että tärisevät merkinnät on tehty reunaviivan molemmin puolin ja mikrofonin etäisyys tien keskilinjasta oli 7,5 m (Vejdirektoratet 2007). Ei siis auton keskeltä niin kuin tässä työssä tehtyt mittaukset. Suomessa on tehty tutkimuksia usein 7,5 m päästä auton keskilinjasta. Esimerkiksi Tiehallinnon selvityksen, 21/2005 Tärisevien viivojen melu- ja tärinä tutkimus, sekä VTT:n vuonna 1992 tekemän, melu-, kitka- ja valonheijastavuusmittaukset, ohiajomelut on mitattu 7,5

m etäisyydellä ajoneuvon keskilinjasta. Myös olosuhteet ovat erilaisia eri mittauskohteissa. Tien päällysteet vaihtelevat ja sää on erilainen. Näistä syistä suora vertailu eri tutkimuksien välillä oli vaikeaa.

Tiemerkintöjen herättävä ominaisuus koostuu melusta ja tärinästä. Siniaallonmuotoinen jysrintämerkinä tuotti 2 - 4 dB lisäyksen ajoneuvon sisälle. Verrattuna tasavälijysrintään melunmuutos oli suhteellisen pieni. Kuten luvussa 2.2.1 kerrotaan, niin Yhdysvalloissa 4 dB melunlisäys olisi riittävä herättämään kuljettajan ja Suomessa pidetään jo 2 - 3 dB muutosta aistittavana. Näihin suhteutettuna melunlisäys oli jo kohtalaista. Lisäksi siniaallonmuotoinen merkinä tuottaa voimakkaampaa tärinää kuin esimerkiksi tasavälijysrintämerkinä. Tärinä oli auton korissa ja kojetaulussa siniaallonmuotoisella merkinnällä selvästi yli 0,1 mm/s ja vaihteli noin 0,14 - 0,2 mm/s välillä. Tasavälijysrintämerkinnällä vastaavat arvot olivat 0,1 - 0,18 mm/s ja huomattavasti yli 0,1 mm/s arvot saatiin lähinnä vain 80 km/h nopeudella.

Siniaallonmuotoisessa jysrintäjäljessä vesi poistui ensin jysrintän harjalta ja viimeiseksi jysrintän pohjalta. Tulokset osoittavat, että sileän merkinnän märkäpaluuheijastavuus parani, kun se oli tehty siniaallonmuotoiseen jysrintään ja jysrintä oli kalteva poispäin heijastavasta merkinnästä. Drop-On Line-merkinnän märkäpaluuheijastavuus taas heikkeni, kun se oli tehty sinijysrintään. Jos Drop-On Line-merkinä tehtäisiin myös sinijysrintään siten, että jysrintä olisi poispäin kalteva merkinnästä, paransi Drop-On Line-merkinnän märkäpaluuheijastavuus hieman.

Paluuheijastavuusmittauspisteet eivät täydellisesti kuvanneet koko tietä. Jyrkkiä mäkiä ei mittauspisteiden alueella ollut ja mittauksia tehtiin yhtä paljon molemmista sivukaltevuustilanteista, vaikka tien poikkileikkaus ei ollut koko ajan yksipuolinen, vaan tien harja oli suorilla osuuksilla keskilinjan kohdalla. Siksi ovat ylliedustettuina myös mittauspisteet, joissa jysrintä ja tienpinta olivat kaltevia merkinästä kohti (katso kuva 39 s. 62).

6 Päätelmät ja suositukset

6.1 Tiemerkintöjen paluuheijastavuuden kenttätutkimukset

Tutkimukset osoittivat, että tiemerkinnät ovat likaisia vielä toukokuun alussa. Kesäkuun lopulla olivat tulokset myös alhaisempia kuin muuten kesän aikana. Nämä seikat yhdessä tienpidon säästöjen kanssa antaisivat aiheen suositella paluuheijastavuuksien mittaamista toukokuun puolivälin ja kesäkuun puolivälin väliselle ajalle. Havupuiden kukinta-aikaa olisi hyvä seurata, jotta paluuheijastavuutta ei mitattaisi silloin, kun merkinnät ovat likaisia.

Keväällä tehdyistä mittauksista nähdään korjaamista vaativat merkinnät. Tilaajaa kiinnostaisi tämän lisäksi myös varmistaa, että korjaamista tarvitsevat merkinnät on korjattu ja niiden laatu on riittävä. Tämä on yksi syy, joka puoltaa paluuheijastavuuden mittaamista vasta elokuussa.

Tutkimuksien tulokset osoittavat, että tiemerkintöjen paluuheijastavuus heikkenee jo elokuun aikana ennen syksyä ja kuitenkin syksyllä paluuheijastavuuden tarve on suurimmillaan. Silloin edellisessä kappaleessa esitetyllä aikavälillä tehtävät mittaukset olisivat paluuheijastavuuden huippuarvojen mittaamista. Huippuarvojen mittaaminen kesällä ei ole liikenneturvallisuuden ja tien käyttäjän kannalta paras vaihtoehto. Voi olla, että paluuheijastavuuden raja-arvot täyttyvät kesäkuussa, mutta eivät syksyllä, kun tarve on suurin. Jos käytetään huippuarvoa tiemerkintöjen kunnon mittarina, olisi hyvä kiristää vaatimuksia nykyisistä noin 25 yksikköä korkeammaksi. Tutkimuksen mukaan paluuheijastavuus on kesällä noin 25 yksikköä korkeampi kuin kesän lopussa.

Syytä elokuussa tapahtuvalle tiemerkintöjen paluuheijastavuuden heikkenemiselle ei tunneta. Myös kesäkuun muista poikkeavien tuloksien syy ei ole täysin varma, vaikka yhtenä saattaa olla havupuiden siitepöly. Tässä tutkimuksessa ei otettu kantaa tiemerkintöjen materiaaleihin, mutta tiemerkintämassan tai -maalin reseptillä on kuitenkin merkitystä paluuheijastavuuden käyttöön. Näitä asioita olisi jatkossa hyvä tutkia tarkemmin. Varsinkin reseptien merkitys voi olla merkittävä, koska erilaisten massojen paluuheijastavuuskäytös vaihtelee. Tätä tukisivat myös tämän työn pistemäisten mittausten tulokset. Paras tilanne olisikin, jos merkintöjen paluuheijastavuus olisi syksyllä samanveroista kuin kesällä.

6.2 Jyrsittyjen merkintöjen kuntokatselmus

Tässä tutkimuksessa vähemmälle huomiolle jääneen päällystelaatan paksuuden vaikutusta päällysteen kuntoon jyrsittyjen merkintöjen kohdalla olisi myös hyvä tulevaisuudessa todentaa fyysisin tutkimuksin esimerkiksi näytteiden ottamisella ja niiden tutkimisella. Päällysteen paksuudella voi olla hyvinkin suuri merkitys ainakin, jos jysintämerkintä on syvä.

Jysintämerkinnän syvyydellä oli hieman vaikutusta kuntoarvoon, joten olisi myös hyvä kokeilla hieman matalampia jysintöjä varsinkin tien keskilinjassa. Jysintämerkintöjen kunto oli ylipäättään hyvä, joten merkintöjen syvyyttä ei ainakaan kannata kasvattaa yli nykyisen 10 mm. Jysinnän leveys ei vaikuta merkintöjen vaurioitumiseen ja tämä nähdään myös regressioanalyysistä.

Testit osoittivat selvästi, että saumassa sijaitseva jysintämerkintä vaurioituu herkimmin. Saumassa olevien merkintöjen kunnan keskiarvo on suurempi kuin muualla olevien merkintöjen ja myös koko aineistolle tehty regressioanalyysi osoittaa, että sauma on merkittävä tekijä kunnan kannalta. Myös keskilinjan jysintämerkinnät olivat huonommassa kunnossa kuin reunalinjan ja 8,1 % keskilinjan merkinnöistä oli vaurioitunut. Keskilinjan merkinnät olivat aina sauman kohdalla. Päällysteen saumakohta on jo muutenkin altis vaurioitumaan ja jysintä nopeuttaa päällysteen kulumista, kuten kerrottiin jo kohdassa 2.2.1. Näiden syiden takia jysintöjen tekeminen päällysteen saumakohtiin on kyseenalaista. Tien reunassa jysintämerkintä voidaan tehdä ja tulisikin tehdä aina saumasta erilleen, mutta tien keskellä jysintä täytyisi tehdä keskisauman molemmin puolin. Tämä lisäisi jysinnän kustannuksia. Lisäksi ajokaistoja jouduttaisiin kaventamaan, jysinnät täytyisi tehdä ainakin toiselle ajokaistalle tai tietä jouduttaisiin leventämään.

Päällystettä uusittaessa tien keskisauma täytyy tehdä huolellisesti, jos tielle aiotaan tehdä keskilinjan jysintämerkintöjä. Päällysteiden maksimiraekoolle ei voida tehdä suositusta, koska jos raekoko on suuri, on päällyste yleensä suhteellisen vanha. Vanhoille päällysteille ei kannata tehdä jysintämerkintöjä. Alle kolme vuotta vanhoille päällysteille tehty jysintämerkinnät ovat pysyneet melkein aina hyvässä kunnossa ja tämän takia kolmevuotiaisiin tai vanhempiin päällysteisiin jysintämerkintöjen tekemistä tulisi välttää.

Tien pientareiden saumaan tehdyt jysintämerkinnät pitäisi myös uusida ja tehdä irti saumasta jos mahdollista, samalla kun viereisen kaistan päällyste uusitaan. Jysintämerkinnöistä usein noin puolet oli jäänyt uuden päällysteen alle. Tästä on hyvä esimerkki valtatiellä 3 otetussa kuvassa 28 sivulla 52. Jysintämerkinnän leveydellä on vaikutusta merkinnän toimivuuteen, kuten luvussa 2.2.1 on osoitettu. Ainakin valtatie 3 lisäksi Kehä II:lla (st 102) oli myös puoliksi tai kokonaan peittyneitä jysintämerkintöjä (kuva 52 s. 79). Kehä II:lla merkinnät olivat peittyneet vieressä olevan hajonneen sauman paikkauksen takia. Jysinnät tulisi tehdä pientareilla tarpeeksi kauas saumasta, etteivät ne peittyisi sauman paikkauksen tai viereisen kaistan päällystyksen takia.



Kuva 51 Sauman paikkaus on peittänyt jysintämerkinnän Kehä II:lla (st 102)

6.3 Yhdistelmämerkintäkokeilu

Tulosten ja aiempien tutkimuksien perusteella voidaan sanoa siniaallonmuotoisen jysintämerkinnän aiheuttavan vähemmän melua ympäristöön kuin tasavälijysintämerkinnän. Eri nopeuksilla siniaallonmuotoinen jysintämerkintä oli 1 - 4 dB hiljaisempi kuin tasavälijysintämerkintä. Ero oli suurempi matalammalla nopeudella ja pieneni nopeuden kasvaessa. Taajamissa nopeusrajoitukset ovat yleensä alemmat, joten siniaallonmuotoista voidaan tehdä lähemmäksi asutusta kuin normaalia

jyrsintämerkintää. Mitä pienempi on tien nopeusrajoitus ja liikenteeltään hiljaisempi tie, sitä lähemmäksi asutusta voidaan merkintää tehdä.

Melumittauksia olisi hyvä tehdä myös noin 100 m etäisyydellä tiestä mahdollisimman aukeassa maastossa, jotta etäisyyden vaikutus voitaisiin todeta paremmin. Nyt pääkoekohde valtatiellä 9 oli tehty metsäiseen maastoon, joten oli mahdotonta saada mitattua kauemmas kantautuvaa melua, koska näköyhteyttä tielle ei metsästä olisi ollut. Tasainen tie peltoaukealla olisi ideaalinen mittauskohde esimerkiksi toisessa melumittauskohteessa tiellä 24. Kuten kappaleessa 2.2.1 on jo todettu, ei päällysteen ja herätemerkinnän meluero muutu etäisyyden kasvaessa, joten voidaan myös olettaa, että siniaallonmuotoinen jyrsintä aiheuttaa tuloksien mukaisen melun lisäyksen kauemmas kuin 7,5 m päähän tiestä.

Herätevaikutus on melun osalta siniaallonmuotoisella jyrsintämerkinnällä pienempi kuin tasavälijyrsintämerkinnällä. Melu auton sisällä lisääntyy 2 - 4 dB ajettaessa siniaallonmuotoisen jyrsinnän päällä. Tämä oli 2 - 8 dB vähemmän kuin tasavälijyrsintämerkinnän päällä ajettaessa. Kuitenkin toista herätevaikutusta tärinää syntyy siniaallonmuotoisella jyrsinnällä ajettaessa enemmän. Koska tuntoaistiin reagoidaan nopeammin ja tuntoaisti on ihmisellä herkempi kuin kuuloaisti, voidaan tärinää pitää merkittävämpänä herättäjänä kuin melua. Siniaallonmuotoinen jyrsintämerkintä tuotti voimakkuudeltaan 0,13 - 0,22 mm/s rms tärinää ja tasavälijyrsintämerkintä vain yleensä voimakkuudeltaan 0,1 mm/s rms tärinää. Näiden tulosten ja tietojen mukaan voidaan päätellä, että siniaallonmuotoisen jyrsintämerkinnän vähäisempi sisämelu korvaantuisi tärinällä.

Jyrsintäkokeilun tärinämittausten tuloksien tulkitseminen tuotti ongelmia, koska herätysvaikutuksen arviointi osoittautui vaikeaksi. Kuitenkin ihminen kykenee huomaamaan voimakkuudeltaan 0,1 mm/s rms tärinää. Tarvetta olisi kuitenkin tutkia tärinän herätysvaikutusta. Tarkemmin sanoen haluttaisiin tietää, kuinka voimakasta tärinän täytyy olla herättääkseen väsymysasteeltaan erilaisia kuljettajia. Todennäköisintä on, että melu ja tärinä yhdessä ovat tehokkain herätyskeino. Olisi siis myös tarpeen tutkia melun ja tärinän yhteisvaikutusta.

Siniaallonmuotoisessa jyrsinnässä olevien heijastavien merkintöjen kuntoa tulisi seurata jatkossa. Jyrsinnässä olevien merkintöjen paluuheijastavuuden ja kunnon on

todettu kestävästi paremmin, koska merkintään ei kohdistu yhtä paljon kulutusta kuin tien pinnalla olevaan merkintään. Jyrsinnän harjalla oleva merkintä joutuu todennäköisesti suurimman kulutuksen kohteeksi ja voi kulua pois nopeasti. Jos näin käy, tulee todennäköisesti sinijyrsinnässä olevan heijastavan merkinnän märkäpaluuheijastavuus heikkenemään huomattavasti, koska aallon pohjalla oleva merkintä voi sadekelillä peittyä vedellä kokonaan.

Tässä tutkimuksessa kokeilukohteissa tehdyt paluuheijastavuusmittaukset olivat suppeat. Paluuheijastavuutta olisi tutkittava enemmän, jotta voitaisiin varmasti todeta märkäpaluuheijastavuuden erot siniaallonmuotoiseen jyrsintään ja tien pintaan tehtyjen tiemerkintöjen välillä. Jos tiemerkintä tehdään jyrsintämerkintään, tulee se tehdä siten, että vesi valuisi tiemerkinnän päältä pois mahdollisimman nopeasti eikä jäisi peittämään tiemerkintää. Drop-On Line-merkinnän märkäpaluuheijastavuus oli selvästi parempi kuin sileän merkinnän. Drop-On Line:n märkäpaluuheijastavuus oli noin $100 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ ja sileän merkinnän vain noin $30 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$. Lisäksi märkäpaluuheijastavuusmittausta ei ole kehitetty profiloituja tai epätasaisia pintoja silmälläpitäen, joten märkäpaluuheijastavuuden mittaamista tulisi kehittää. Visuaalisen merkinnän toimintaa ja kuntoa siniaallonmuotoisen jyrsinnän päällä tulisi seurata paluuheijastavuusmittauksin, jotta voitaisiin selvittää, vähentääkö tällainen suojaaminen varmasti ylläpitokuluja.

Siniaallonmuotoisen jyrsinnän vaikutusta hoitokuluihin tulisi tutkia varsinkin, jos tiemerkintä tehdään myös jatkossa jyrsintään. Jyrsintämerkintöjä voidaan joutua puhdistamaan, koska merkintöjen pohjalle pakkaantuu hiekkaa ja pölyä. Jyrsinnän pohjalla tiemerkintä voi siis likaantua herkemmin ja pysyä kauemmin likaisena, koska lika ei poistu merkintöjen pohjalta yhtä helposti kuin tien pinnalta.

7 Yhteenveto

Tiemerkinnät ovat tärkeä osa liikenteenohjausjärjestelmää, koska merkinnät osoittavat missä väylät kulkevat. Tiemerkintöihin kuuluvat niin visuaaliset kuin palautetta antavat merkinnät. Tiemerkinnät vähentävät onnettomuuksia ja ohjaavat kuljettajia. Visuaaliset merkinnät nähdään ja niiden avulla pidetään auto oikeassa kohdassa tietä. Kuitenkin keskittyminen saattaa herpaantua ja palautetta antavat merkinnät auttavat kuljettajaa tällöin pitämään auton tiellä tärinän ja melun ansiosta.

Visuaalisilla tiemerkinnöillä tärkein ominaisuus on näkyvyys. Näkyvyyttä tarvitaan auton ohjaamisen lisäksi myös uusiessa älyliikenteen järjestelmissä kuten kaistavahtijärjestelmässä. Kaistavahti tukeutuu täysin tiemerkintöjen näkyvyyteen. Näkyvyys saavutetaan päivällä värin, valkoinen tai keltainen, avulla ja yöllä valon paluuheijastavuuden avulla. Suomessa käytetyimmät visuaaliset merkinnät ovat massat tai maalimerkinnät. Merkintämassoihin voidaan lisätä lisäaineita ja paluuheijastavuus saadaan aikaan visuaalisen merkinnän materiaaliin lisättävillä lasihelmillä. Massat ja maalit levitetään koneellisesti tielle pois lukien tarkkuutta vaativat merkinnät, kuten esimerkiksi suojatiemerkinnät ja erilaiset kaistoille tehtävät symbolit. Tiemerkintöjä tehdään kuivissa ja lämpimissä oloissa, jotta merkinnät pysyisivät hyvin kiinni tiessä. Siksi merkintöjen valmistusaika on rajallinen.

Paluuheijastavuutta mitataan nykyään keväällä, vaikka merkinnät ovat puhtaita vasta toukokuun puolella välissä. Merkintöjen paluuheijastavuuden mittaajankohdalla kannattaisi siirtää toukokuun puolivälistä ja kesäkuun puoliväliin, jotta mittaukset olisi tehty puhtaista tiemerkinnöistä ja syntyisi kustannussäästöjä. Kesäkuun loppupuolella tiemerkinnät voivat olla likaantuneita havupuiden siitepölyn takia ja merkintöjen paluuheijastavuus heikkenee kesäkuun lopussa. Siitepölykauteen vaikuttaa myös sijainti. Pohjois-Suomessa siitepölykausi alkaa myöhemmin kuin Etelä-Suomessa.

Tämän tutkimuksen mukaan merkinnät saavuttivat parhaan paluuheijastavuuden kesäkuun alussa. Jatkuvien paluuheijastavuusmittauksien mukaan paluuheijastavuus on syksyllä keskimäärin $25 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ pienempi. Syksyllä paluuheijastavuuden tarve on kuitenkin suurempi. Näistä syistä paluuheijastavuusvaatimusten tulisi olla korkeammat kesällä tehdyille mittauksille kuin esimerkiksi mahdollisesti syksyllä tehdyille mittauksille. Tilaajan kannalta olisi parempi, jos mittaukset tehtäisiin syksyllä. Syksyllä

tehdyt mittaukset kertoisivat merkintöjen kunnon silloin, kun niitä eniten tarvitaan ja syksyllä merkintätyöt olisi jo tehty. Näin voitaisiin varmistua myös laadusta.

Tiementäyttömassoista voidaan tehdä myös profiloituja merkintöjä, joilla on märkinä parempi näkyvyys kuin sileillä merkinnöillä. Visuaaliset profiloidut merkinnät ovat myös samalla palautetta antavia merkintöjä. Muita palautetta antavia merkintöjä ovat painetut ja jyrsityt. Näiden merkintöjen ohjaavia vaikutuksia ovat niiden aiheuttama tärinä ja melu.

Melu on myös ollut herätemerkintöjen ongelma, koska melua ei saisi syntyä asutussa ympäristössä. Erilaisilla valmistetut palautetta antavat merkinnät aiheuttavat voimakkuudeltaan erilaista melua ja tärinää. Näistä merkinnöistä tasavälijyrsintämerkinnät ovat Suomessa yleisesti käytössä, koska niillä on hyvä herätevaikutus, mutta samalla ne tuottavat myös ympäristömelua. Norjassa ja Tanskassa on menestyksellisesti kokeiltu siniaallonmuotoista jyrsintää. Sen on todettu olevan huomattavasti hiljaisempaa ympäristön kannalta.

Toinen ongelma jyrsityillä merkinnöillä on niiden vaikutus päällysteen kuntoon. Päällyste on joissain tapauksissa hajonnut jyrsintämerkintöjen kohdalta. Jyrsintämerkintä ei tietenkään saisi johtaa päällysteen vaurioitumiseen. Päällysteen hajoamisen syiksi oli jo aiemmin selvitetty jyrsintämerkinnän tekeminen päällysteiden saumaan ja vanhoihin päällysteisiin. Muiden asioiden vaikutusta ei kuitenkaan ollut todettu. Tässä työssä tutkittiin päällysteen ja jyrsintämerkinnän ominaisuuksien vaikutusta jyrsintämerkintöjen vaurioitumiseen, jotta selviäisi, miten voidaan saada aikaan kustannussäästöjä kunnossapidossa.

Tämän tutkimuksen mukaan jyrsintämerkintöjen tekemistä päällysteiden saumaan ja kolme vuotta vanhoihin ja sitä vanhempiin päällysteisiin tulisi välttää. Nykyään päällysteiden sideaineen määrä on korkeampi ja päällysteiden saumakohta tehdään jo huolellisemmin kuin vielä muutama vuosi sitten. Uusiin päällysteisiin tehtyjen keskilinjien jyrsintämerkintöjen kuntoa kannattaisi seurata, jotta voitaisiin todeta onko tarkemmin tehty sauma myös kestävämpi jyrsintämerkintöjen kohdalla kuin aiemmin. Jyrsintämerkintöjen syvyys vaikuttaa myös päällysteen kuntoon ja tämän tutkimuksen mukaan 10 mm syvempää jyrsintämerkintää ei kannata tehdä. Tien keskilinjien jyrsintämerkinnät olisi hyvä tehdä matalampina, kunhan merkinnät toimisivat.

Tutkimuksen mukaan jysintämerkinnät olivat keskimäärin hyvässä kunnossa ja vain noin 5 % oli vaurioitunut. Kuitenkin keskilinjaan jysintämerkinnöistä hieman yli 8 % oli vaurioitunut, kun reunalinjan jysinnöistä oli vain noin 3,5 %. Vertailu edelliseen samanlaiseen tutkimukseen osoitti, että hyvään ja uuteen päällysteeseen tehdyt jysintämerkinnät kestävät vaurioitumatta paremmin.

Jysintämerkinnät aiheuttavat melua ympäristöön eikä tasavälijysintämerkintöjä suositella käytettäväksi asutuksien läheisyydessä. Uusia, palautetta antavia merkintöjä onkin kokeiltu hyvin menestyksin ja tässä tutkimuksessa tehtiin myös kokeilu tällaisesta jysintämerkinnästä. Erona muiden maiden tutkimuksiin oli ainakin päällysteen ikä ja visuaalisen merkinnän tekeminen jysintään. Jälkimmäisen eron takia tätä merkintää kutsutaan myös yhdistelmämerkinnäksi. Kokeillun uudenlaisen siniaallonmuotoisen jysintämerkinnän todettiin olevan hiljaisempi kuin tasavälijysintämerkinnän. Myös muualla tehdyt tutkimukset osoittavat, että sellainen merkintä aiheuttaa ympäristöön vain vähän ylimääräistä melua varsinkin matalilla nopeuksilla. Ympäristöön kantautuvan vähäisen melun puolesta siniaallonmuotoista jysintämerkintää voidaan käyttää lähellä asutusta.

Alempi melutaso ympäristössä tarkoittaa myös alempaa melutasoa ajoneuvon sisällä. Melua syntyy siniaallonmuotoisen jysintämerkinnän päällä ajettaessa kuitenkin jo ihmisen havaitsemiskyvyn ylittämä määrä ja sen lisäksi siniaallonmuotoinen jysintämerkintä aiheuttaa enemmän tärinää kuin esimerkiksi tasavälijysintämerkintä. Lisääntynyt tärinä kompensoi alempaa melutasoa, koska ihminen on herkempi reagoimaan tuntoaistimuksiin kuin kuuloaistiin. Myös merkinnän käyttö muualla lisää luotettavuutta. Näistä syistä voi siniaallonmuotoista jysintämerkintää pitää tarpeeksi herättävänä.

Tiementämerkinnän tekemisellä voidaan saavuttaa säästöjä kunnossapidon puolella. Tämän takia yhdistelmämerkintäkokeiluun kuului myös sileää merkintää ja profiloitua Drop-On Line-merkintää siniaallonmuotoisen jysintämerkinnän päällä. Tällainen yhdistäminen suojaa visuaalista merkintää aurasenkalustolta ja liikenteeltä, koska merkintä on tien pinnan alapuolella ja kuljettajat välttelevät ajautumista epämiellyttävälle tärisevälle pinnalle.

Tutkimuksen yhdistelmämerkinnän paluuheijastavuusmittausten tuloksista varmistui, että Drop-On Line-merkinnällä on parempi märkäpaluuheijastavuus kuin sileällä merkinnällä. Lisäksi huomattiin, että visuaalinen merkintä tulee tehdä jysintämerkintään siten, että vesi pääsee valumaan pois visuaalisen merkinnän päältä mahdollisimman nopeasti. Muuten märkäpaluuheijastavuus heikkenee huomattavasti. Märkäpaluuheijastavuuden standardin mukaista mittausta ei ole tarkoitettu profiloiduille merkinnöille eikä epätasaisille pinnoille. Tästä syystä märkäpaluuheijastavuuden mittausta tulisi jatkossa kehittää. Aiemmat tutkimukset ovat siis osoittaneet, että yhdistelmämerkinnöillä voidaan saavuttaa säästöjä tienpidossa. Siksi tulisi tämän kokeilun yhdistelmämerkintöjen kuntoa seurata myös jatkossa.

8 Lähteet

Arola, A. (2010) Haastattelu 2.11.2010. Rejlers Oy/Liikennevirasto, Suomi. Konsultti

Liikennevirasto (2010) Liikenneonnettomuudet maanteillä vuonna 2009. Helsinki 69 s.

LVM (2005). Tieliikenteen turvallisuus 2006- 2010. Cavén H, et al. Helsinki 52 s.

Nordström, A. (2010) Sähköpostiviesti Jarkko Valtoselle 20.8.2010. Cleanosol Oy, Suomi. Toimitusjohtaja

Oulun seudun ammattikorkeakoulu (2010). Jyrsittyjen täristävien merkintöjen vaikutus päällysteen vaurioitumiseen valtateillä 4 ja 20. Vääräniemi A. Oulu 60 + 5 s.

Oulun yliopisto (2007). Monitavoitteisen päätösanalyysin ja paikkatiedon hyödyntäminen täristävien tieviivojen sijainnin suunnittelussa. Perälä V-M. Oulu 111 + 28 s.

Pank (2010) Kokousmuistio 2/2010 liite. Nordström A. Vantaa.

Pessi, A-M. (2010) Sähköpostiviesti 4.11.2010. Aerobiologian yksikkö, Turun yliopisto, Suomi. Tutkija

Rakentajain Kustannus Oy (1983). Asfalttipäällysteet. Lehtipuu E. Helsinki 415 s.

SINTEF (2010). Evaluering av forsterket midtoppmerking i Hedmark-Oppland. Norja 42 + 3s.

Suomen standardisoimisliitto SFS (2009). SFS-EN 1436 + A1, Tiemerkintämateriaalit. Tiemerkintöjen toimivuus tienkäyttäjän kannalta. Helsinki 47s.

Statens vegvesen (2010). Nedfrest Longflex og Rumbleflex i Hedmark og Oppland. Trond C. Norja 27 s.

Teknillinen korkeakoulu (2005). Tärisevät reun- ja keskiviivat (Diplomityö). Gruzdaitis L. Espoo 140 s.

Tiehallinto (2000). Auras ja tiemerkinnot : esikoe. Unhola T. Helsinki 26s. + liitel.

Tiehallinto (2004a). Tiemerkinnot, Suunnittelu- ja toteuttamisvaiheen ohjaus. Helsinki 112s.

Tiehallinto (2004b). Tiemerkinnotien luokitus. Helsinki 12 s.

Tiehallinto (2005a). Moottoritieonnettomuudet Suomessa, Tärisevien tiemerkinnotien turvallisuuspotentiaali. Kelkka M, Suhonen K. Helsinki 38 + 8 s.

Tiehallinto (2005b). Tärisevien viivojen melu- ja värinä tutkimus. Tiehallinnon selvityksiä 21/2005. Alatyttö V, Hyypä I, Valtonen J. Helsinki 70 + 3 s.

Tiehallinto (2005c). Värinäviivatutkimuksia 2002-2004, Osa 1 Värinäsulkuviivan vaikutus ajokäyttäytymiseen kaarteissa, Osa 2 Värinäviivojen toiminnalliset ominaisuudet, Osa 3 Tienpintaheijastimien toiminnalliset ominaisuudet. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 9/2005. Helsinki 100 s.

Tiehallinto (2006a). Tiemerkinnotien toimintalinjat. Helsinki 15 s.

Tiehallinto (2006b). THJory 24.4.2006 Muistio Liite 1: Tärisevien keski- ja reunaviivojen käyttö. 7 s.

Tiehallinto (2007a). Jyrsittyjen tärisevien keski- ja reunaviivojen kunto, Maastoinventointi. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 54/2007. Helsinki 34 s.

Tiehallinto (2007b). Tiemerkinnotien laatuvaatimukset. Helsinki 21s.

Tiehallinto (2007c). Käyttäjää ohjaavien teiden suunnittelu, esiselvitys self-explaining road -periaatteesta ja sovellutuksista Euroopassa. Tiehallinnon selvityksiä 23/2007. Somerpalo S, Meriläinen A. Helsinki 56 s.

Tiehallinto (2008). Tärisevät tiemerkinnät: haastattelututkimus tienkäyttäjien keskuudessa Hämeessä ja Uudellamaalla. Puohiniemi m, Myllylä M, Perälä E, Perälä T, Pulkkinen K. Helsinki 49 s. + liitel.

Tielaitos (1993). Tiemerkintöjen näkyvyys : paluuehijastuvuustutkimus Lapin tiepiirissä. Helsinki 62 s. + liitel.

Tielaitos (1994). Tiemerkintätekniikka. Helsinki 237 s.

Tilastokeskus (2010). Tieliikenneonnettomuudet 2009, Vägtrafi kolyckor, Road Traffic Accidents. Jääskeläinen P, Konttinen J-P, Törmänen M, Östlund R. Helsinki 67 s.

Trafik & Veje (2010 September). Rumleriller. Olsen O, Thau M. Norja 3 s. Artikkel.

TRB (1996). Pavement Marking Retroreflectivity Requirements for Older Drivers. Graham J, Harrold K, King E. USA 7s.

TRB (2002). A Methodology for Estimating the Lifecycle of Interstate Highway Pavement Marking Retroreflectivity. Thamizharasan A, Sarasua W, Clarke D, Davis W. Kanada 24 s.

TRB (2006). Pavement Marking Materials and Markers: Real-World Relationship Between Retroreflectivity and Safety Over Time. NCHRP. Bahar G, Masliah M, Erwin T, Tan E, iTRANS Consulting, Hauer E. Kanada 194 s.

TRB (2007a). Estimating Safety Benefits of Shoulder Rumble Strips on Two-Lane Rural Highways in Minnesota: Empirical Bayes Observational Before-and-After Study. Patel R, Council F, Griffith M. USA 7s.

TRB (2007b). Factors That Influence the Effectiveness of Rumble Strip Design. Miles J, Finley M. USA 9 s.

TRB (2009). Guidance for the Design and Application of Shoulder and Centerline Rumble Strips. Torbic D, et al. USA 284 s.

Vainio, J. (2010) Haastattelu 27.10.2010. Tielinja Oy, Suomi. Urakointijohtaja

Valkonen, A. (2010) Sähköpostiviesti 25.9.2010. Pirkanmaan ELY-keskus, Suomi. Päällystevastaava

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (1992). 1987-1992 Melu-, kitka- ja valonheijastavuusmittaukset. Anila M, Unhola T. Espoo 37s.

Vejdirektoratet (2007). Trafikstøj ved rumleriller - et pilotforsøg. Kragh J, Andersen B. Tanska 32s.

VTI (2009). The effect of milled rumble strips versus virtual rumble strips on sleepy drivers - A driving simulator study. Anund A, Kircher A, Tapani A. Ruotsi 60+8 s.

VTT (1995) Tiemerkintöjen näkyvyys: Dynaaminen mittausmenetelmä. Espoo 6 s.

9 Liitteet

Liite 1 Paluuheijastavuus vaatimukset (Tiehallinto 2007b)

16

14.9.2007

Tiemerkintöjen laatuvaatimukset
VALMIIN MERKINNÄN VAATIMUKSET

Taulukko 1: Vaaditut kuntoarvot.

Kategoria	Taso talven jälkeen ^(*)	Taso syksyllä ^(**)
A	Kuntoarvo 3	Kuntoarvo 4
B	Kuntoarvo 3	Kuntoarvo 4
C	<u>Ei kuntoarvon määrittelyä</u>	Kuntoarvo 3

^(*) ennen korjaavia toimenpiteitä

^(**) kunnostuksen takaraja ja kuntoarvojen aikarajat määritellään urakka-asiakirjoissa.

5.3 Paluuheijastavuus

Paluuheijastavuusvaatimukset ovat oheisen taulukon mukaiset, ellei niitä tarkenneta urakka-asiakirjoissa. Hyvän kitka-arvon omaava suojatiemerkintä saattaa kitkaa lisäävien aineiden ja renkaiden jarrutusjälkien vuoksi alittaa taulukon arvot. Liikenteellisesti tärkeiden teiden (kategoria A) paluuheijastavuus mitataan autoon kiinnitetyllä mittauslaitteella jatkuvana mittauksena.

Taulukko 2: Urakoissa käytettävät tiemerkintöjen toiminnalliset vaatimukset paluuheijastavuuden ($\text{mcd/m}^2/\text{lx}$) osalta.^{Huom. 3}

Paluuheijastavuus vähintään: Uusien päällystyskohteiden merkintä kuivana (R_{LK}) ja märkänä (R_{LM}). ^(Huom. 1 ja 2)		Paluuheijastavuus vähintään: Ylläpidettävän merkinnän minimivaatimukset kuivana (R_{LK}) ja märkänä (R_{LM}). ^(Huom. 1 ja 2)	
Valkoinen	Keltainen	Valkoinen	Keltainen
150 (R_{LK}) 50 (R_{LM})	100 (R_{LK}) 50 (R_{LM})	100 (R_{LK}) 35 (R_{LM})	80 (R_{LK}) 35 (R_{LM})

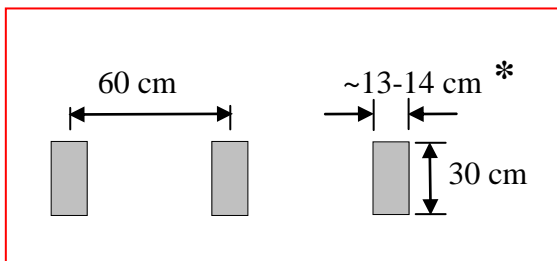
Huom. 1.: Märän / Kostean kelin paluuheijastavuusvaatimus koskee niitä merkintöjä, joissa urakkasopimuksen mukaan edellytetään näitä ominaisuuksia.

Huom. 2.: Taulukon 1 paluuheijastavuusarvot (R_i) vastaavat standardin SFS-EN 1436:n mukaista 30 metrin mittausgeometriaa.

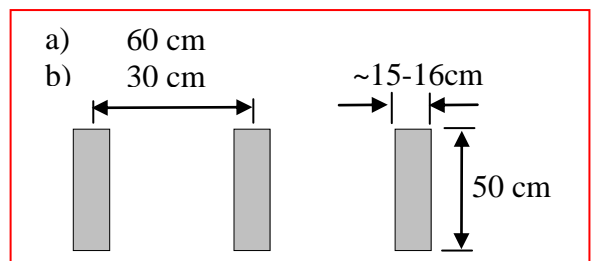
Huom. 3.: Tapauskohtaisesti voidaan määritellä tarkemmin maalien, ohutmassojen sekä massamerkintöjen toiminnalliset vaatimukset.

Jyrsityt täristävät viivat Perustyyppit

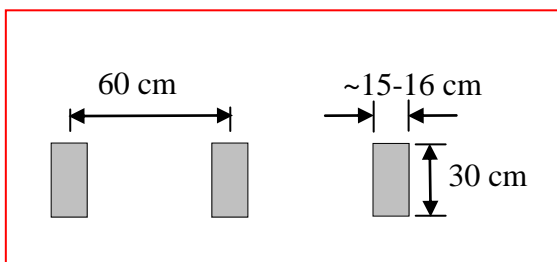
tyyppi 1



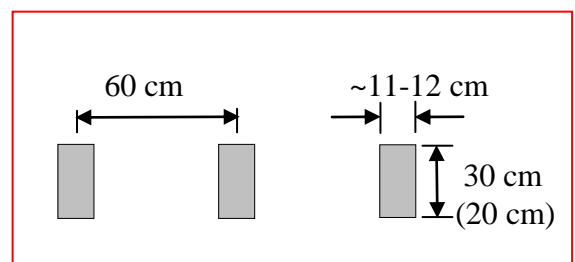
tyypit 2a ja 2b



tyyppi 3

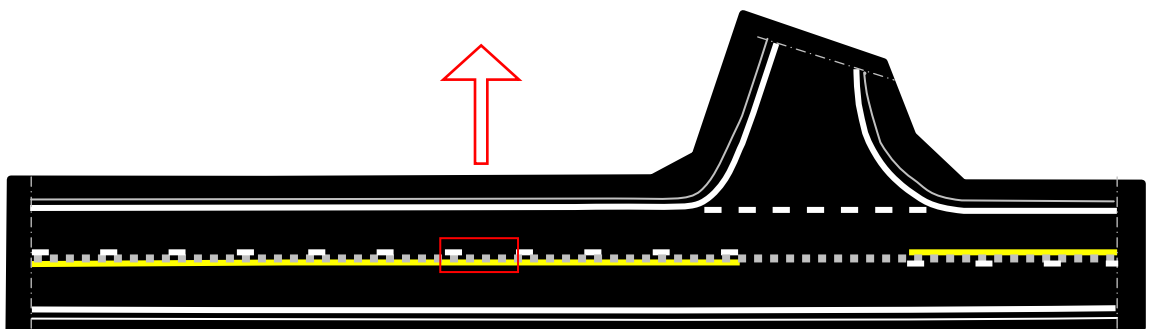
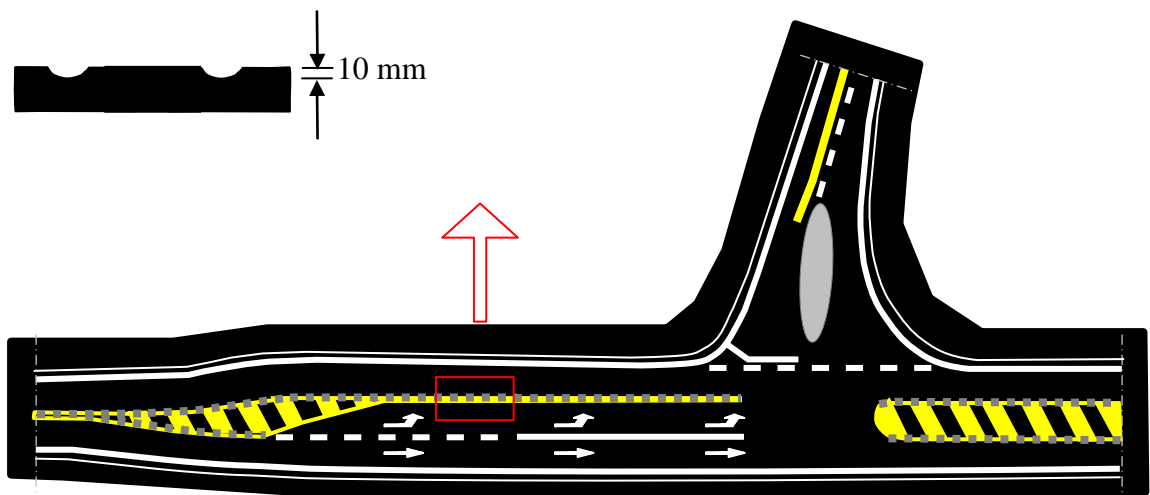
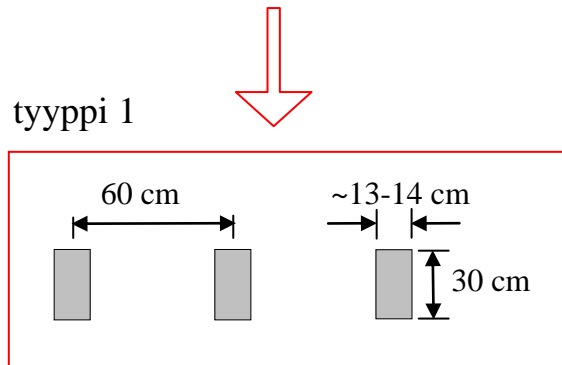
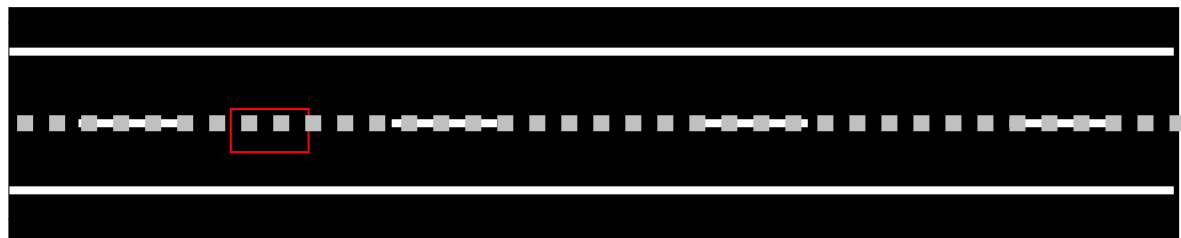


tyyppi 4

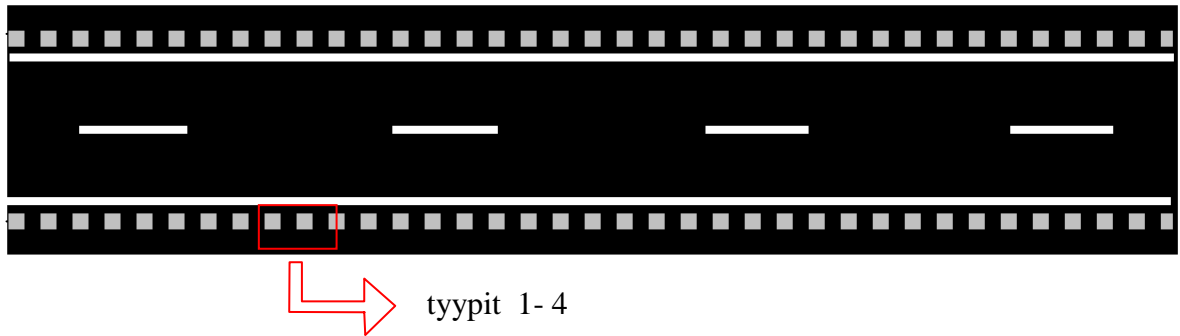


* jyrsintäjäljen leveys riippuu rummun halkaisijasta

Täristävä keskiviiva

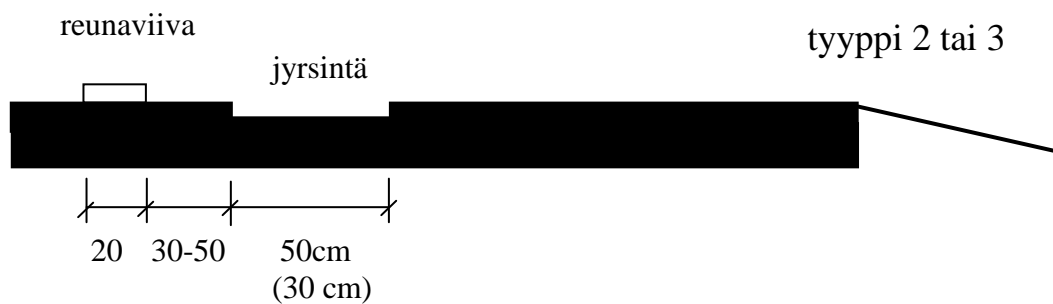


Täristävä reunaviiva

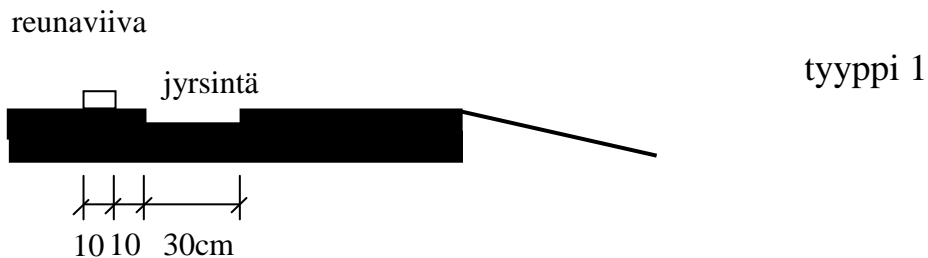


Täristävän reunaviivan sijainti poikkileikkauksessa

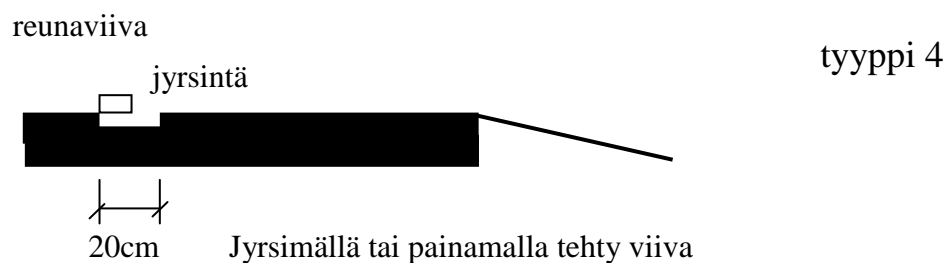
Moottoritiet ja muut 2-ajorataiset tiet



2-kaistaiset tiet, leveä piennar



2-kaistaiset tiet, kapea piennar



Regressioanalyysi koko aineistolle

YHTEENVETO TULOSTUS

Regressiotunnusluvut	
Kerros R	0,350627287
Korrelaatiokerroin	0,122939494
Tarkistettu korrelaatiokerroin	0,105319975
Keskivirhe	0,977106367
Havainnot	458

ANOVA

	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus
Regressio	9	59,95474601	6,661638445	6,977460258	1,8933E-09
Jäännös	448	427,7221099	0,954736852		
Yhteensä	457	487,6768559			

	Kertoimet	Keskivirhe	t Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%	Alin 95,0%	Ylin 95,0%
Leikkauspiste	0,259564489	0,675778602	0,384096934	0,70108884	-1,068524634	1,587653611	-1,068524634	1,587653611
sijainti reuna=0 keski=1	0,652229818	0,170179944	3,832990917	0,000144698	0,317848211	0,98674815	0,317848211	0,98674815
sijainti sauman suhteen 0=ei sauma	0,296694454	0,128122123	2,31571604	0,021024505	0,044899566	0,548489342	0,044899566	0,548489342
päällysteen ikä	0,035116397	0,012348914	2,84368311	0,00466357	0,010847416	0,059385378	0,010847416	0,059385378
syvyys	0,449597208	0,263502775	1,706233292	0,088657691	-0,068257558	0,967451974	-0,068257558	0,967451974
päällyste ab=1 sma=0	-0,20937273	0,10111216	-2,070697831	0,03959233	-0,40808568	-0,01065978	-0,40808568	-0,01065978
leveys	-0,036911387	0,012947466	-2,850858093	0,004561483	-0,062356686	-0,011466089	-0,062356686	-0,011466089
jyrinnän ikä (v)	0,190048216	0,059420278	3,198373041	0,001480052	0,073271175	0,306825256	0,073271175	0,306825256
raekoko	0,021627397	0,028332051	0,763354415	0,445653848	-0,034052806	0,077307599	-0,034052806	0,077307599
väli	0,005671907	0,004796731	1,182452786	0,237653274	-0,003754975	0,01509879	-0,003754975	0,01509879

Regressioanalyysi Keksilinjan jyrshintämerkinnät

Regressiotunnusluvut	
Kerroin R	0,438136743
Korrelaatiokerroin	0,191963806
Tarkistettu korrelaatiokerroin	0,180818479
Keskivirhe	1,155695404
Havainnot	148

ANOVA

	va	NS	KN	F	F:n tarkkuus
Regressio	2	46,00905484	23,00452742	17,22370361	1,94417E-07
Jäännös	145	193,6666208	1,335631868		
Yhteensä	147	239,6756757			

	Kertoimet	Keskivirhe	t Tunnusluvut	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%	Alin 95,0%	Ylin 95,0%
Leikkauspiste	-0,245459159	0,409881856	-0,59885344	0,550205048	-1,055573972	0,564655653	-1,055573972	0,564655653
syvyys	1,674104644	0,45451654	3,683264517	0,000324313	0,775771194	2,572438094	0,775771194	2,572438094
päällysteen ikä (v)	0,147257147	0,033390745	4,410118602	2,00068E-05	0,081261697	0,213252596	0,081261697	0,213252596

Liite 4 Paluuheijastuvuusdata: Pistemäiset mittaukset

Palkkuehjästaus mittaukset			27.2.2010		19.5.2010		8.6.2010		29.6.2010		22.7.2010		16.8.2010		6.9.2010	
Poikkeuslaji	Sijainti poikkeuslajissa	piste nro	Kuntoravio	Vai: Keltainen=1 Valkoinen=0	ajosuunta	vastak.	ajosuunta	vastak.	ajosuunta	vastak.	ajosuunta	vastak.	ajosuunta	vastak.	ajosuunta	vastak.
1	vasen	1	2	0	0	39	47	40	46	35	45					
2	oikea	2	2	0	0	47	41	32	26	32	32					
3	vasen	3	2	0	117	103	126	98	116	116						
4	oikea	4	2	0	29	25	26	26	23	21						
5	vasen	5	2	0	35	53	50	56	45	51						
6	oikea	6	2	0	99	89	120	101	107	87						
7	vasen	7	2	0	2	40	33	38	32	36	27	30	28			
8	oikea	8	3	1	117	103	107	102	92	93	97	89	81	76	86	82
9	vasen	9	2	0	42	40	52	57	56	52	55	58	54	54	55	48
10	oikea	10	2	0	69	62	65	65	65	69	77	76				
11	vasen	11	2	0	58	75	56	64	54	63	63	64				
12	oikea	12	2	0	60	62	53	54	51	48	55	54	41	46	45	56
13	vasen	13	3	1	64	69	62	63	58	61	65	68	55	56	66	66
14	oikea	14	2	0	68	56	43	42	57	57	68	70				
15	vasen	15	2	0	105	137	94	98	75	101	108	107				
16	oikea	16	2	1	57	58	55	57	55	55	62	61	53	50	64	62
17	vasen	17	2	0	53	51	44	44	46	47	50	49	45	47	46	43
18	oikea	18	2	0	48	40	48	45	45	38	48	47	45	46	46	41
19	vasen	19	2	0	94	138	87	120	69	112	104	126				
20	oikea	20	2	1	45	50	47	49	46	46	53	53	47	47	55	56
21	vasen	21	2	0	80	82	66	82	73	79	71	75				
22	oikea	22	2	0	98	114	105	107	97	84	83	78				
23	vasen	23	2	0	1	40	45	39	41	33	36	41	44	31	33	37
24	oikea	24	2	1	58	58	54	56	45	47	59	58	56	53	55	52
25	vasen	25	2	0	43	61	43	57	32	48	40	41				
26	oikea	26	3	0	57	70	49	66	46	56	49	59				
27	vasen	27	3	1	79	89	87	79	82	76	85	84	72	74	81	82
28	oikea	28	3	0	133	129	116	120	103	122	107	114	100	109	109	116
29	vasen	29	3	0	113	99	97	88	87	80	83	86				
30	oikea	30	3	0	52	59	49	60	45	48	43	44				
31	vasen	31	3	1	81	75	73	66	68	58	79	72	73	65	75	68
32	oikea	32	3	1	71	67	68	66	59	57	70	71	68	68	66	69
33	vasen	33	3	0	74	82	78	79	71	70	73	82				
34	oikea	34	2	0	57	66	53	61	45	49	47	49				
35	vasen	35	2	1	73	69	68	67	69	64	68	53	53	50	67	69
36	oikea	36	2	1	58	60	41	34	51	47	60	57	47	46	67	67
37	vasen	37	2	0	70	60	63	60	61	63	64	73				
38	oikea	38	2	0	68	83	65	73	47	52	55	61				
39	vasen	39	2	0	85	72	63	52	63	55	63	66	54	57	55	63
40	oikea	40	2	1	70	60	57	52	56	55	67	67	60	55	66	63
41	vasen	41	2	0	87	81	87	88	71	77	82	86				
42	oikea	42	2	0	42	45	33	41	34	41	37	32				
43	vasen	43	2	0	127	99	117	102	116	98	101	94	99	88	107	94
44	oikea	44	2	0	97	96	83	81	69	82	69	91	70	103	63	91
45	vasen	45	4	0	50	62	46	63	42	62	48	55	38	46	46	46
46	oikea	46	4	0	45	43	57	56	68	61	90	95	82	86	100	101
47	vasen	47	4	1	65	66	77	79	76	81	90	87	83	88	86	87
48	oikea	48	4	1	48	58	54	63	60	58	84	75	84	71	83	84
49	vasen	49	4	0	82	86	83	87	84	87	108	114	105	104	112	111
50	oikea	50	1	0	28	29	34	39	35	40	35	37				
51	vasen	51	2	1	52	43	60	48	56	49						
52	oikea	52	3	1	117	94	114	99	115	93	128	107				
53	vasen	53	1	1	22	24	26	29	25	25	67	32				
54	oikea	54	2	1	118	106	123	124	114	122	120	119	116	110	104	104
55	vasen	55	2	1	80	84	48	90	96	97						
56	oikea	56	2	0	105	89	155	105	171	139	160	136				
57	vasen	57	2	0	58	71	64	90	67	77	68	86				
58	oikea	58	2	1	74	69	80	78	78	75						
59	vasen	59	2	1	90	90	96	110	91	112						
60	oikea	60	3	0	154	114	177	150	176	156	198	161				
61	vasen	61	3	0	103	148	134	166	135	165	146	188				
62	oikea	62	3	0	47	67	52	74	55	74						
63	vasen	63	2	0	67	61	66	65	66	62	66	64	67			
64	oikea	64	2	0	163	189	122	151	152	182	148	174				
65	vasen	65	4	1	69	68	47	48	47	48	57	61	46	48	58	60
66	oikea	66	4	0	71	90	81	79	85	85						
67	vasen	67	2	0	62	65	70	60	60	57	61	64				
68	oikea	68	2	1	133	173	154	208	165	198	161	195	156	186	167	191
69	vasen	69	2	0	75	67	77	77	73	74						
70	oikea	70	2	0	97	102	133	138	114	134						
71	vasen	71	2	0	61	82	87	92	77	75	72	79				
72	oikea	72	3	0	103	163	175	279	153	285	194	257	194	269		
73	vasen	73	3	0	81	80	92	90	92	92						
74	oikea	74	2	0	22	21	23	26	22	20						
75	vasen	75	3	0	85	58	98	81	101	81	109	91				
76	oikea	76	2	0	95	105	102	117	96	101	99	102	82	90	80	102
77	vasen	77	3	0	43	56										
78	oikea	78	3	0	62	39										
79	vasen	79	2	0	69	71	82	80	70	76	72	73	69	70		
80	oikea	80	2	0	69	76	75	57	74	76	78	81	47	59	47	68
81	vasen	81	3	0	56	48										
82	oikea	82	3	1	68	64	95	93	78	82	97	98	83	82	81	85
83	vasen	83	2	0	79	83	90	98	76	84	88	98	63	71		
84	oikea	84	2	0	60	58										
85	vasen	85	3	0	37	31										
86	oikea	86	3	0	41	41										
87	vasen	87	2	0	93	68	86	93	85	75	103	86	81	71		
88	oikea	88	2	0	65	65	83	73	81	65	93	78	63	66		
89	vasen	89	1	1	26	23										
90	oikea	90	3	1	91	125	126	140	113	159	127	177	101	143	116	141
91	vasen	91	3	1	50	67	56	65	51	57	50	71	30	46	47	59
92	oikea	92	3	0	101	65	96	88	104	81	97	76	83	67		
93	vasen	93	2	0	86	102	100	114	79	106	89	111	67	89		
94	oikea	94	2	0	51	56										
95	vasen	95	2	0	53	47										
96	oikea	96	2	0	105	63	129	85	114	81	130	88	115	61		
97	vasen	97	3	0	77	82	89	83	79	76	88	88	84	84		
98	oikea	98	3	1	65	48	78	57	61	24	72	47	60	32		
99	vasen	99	3	1	75	59	84	73	78	66	82	76	75	61		
100	oikea	100	3	0	38	25										
101	vasen	101	4	0			98	94	101	96	121	117	106	103	137	130
102	oikea	102	4	1			100	124	113	112	120	122	115	119	106	110
103	vasen	103	4	0			128	124	125	102	156	155	151	158	178	176
104	oikea	104	4	0			109	110	114	115	123	133	121	131	152	159
105	vasen	105	5	0			156	142	176	178	236	224	242	236	253	251
106	oikea	106	5	1			105	109	109	114	127	130	121	130	106	115
107	vasen	107	5	1												

[illegible]

Liite 5 Jyrsintämerkkintöjen kuntoarviointidata

50	7	6256	3128	1	0	0	0	1	2	0	30	3	16	60			2007		isma	16			2007	Ajorata 2	UUSIMAA		
50	8	3101	1550	1	0	1	14	1	1	30	3	20	60	17	2007				ab	20			1993	Ajorata 1	UUSIMAA		
50	9	3101	1550	1	0	1	14	1	1	30	3	20	60	17	2007				ab	20			1993	Ajorata 2	UUSIMAA		
51	1	4342	4100	1	0	1	1	1	1	0	30	2	16	60	3	2008			isma	16			2007	Ajorata 1	UUSIMAA		
51	2	3114	800	1	0	0	0	1	2	0	30	2	16	60	2	2008			isma	16			2008	Ajorata 2	UUSIMAA		
51	4	3246	1370	1	0	0	0	1	0	30	2	16	60	10	2008			isma	16			2008	Ajorata 1	UUSIMAA			
51	4	3246	2000	1	0	0	0	3	1	2	30	2	16	60	5	2008			isma	16			2005	Ajorata 2	UUSIMAA		
51	5	2777	1100	1	0	0	6	1	0	30	2	16	60	8	2008			isma	16			2002	Ajorata 1	UUSIMAA			
51	5	2777	1388	1	0	0	6	1	0	30	2	16	60	8	2008			isma	16			2002	Ajorata 2	UUSIMAA			
51	6	5452	2726	1	0	1	14	1	0	30	3	16	60	17	2007			ab	16			1993	Ajorata 1	UUSIMAA			
51	6	5452	2726	1	0	1	14	1	1	30	3	16	60	17	2007			ab	16			1993	Ajorata 2	UUSIMAA			
51	7	4853	2426	1	0	1	19	0	8	1	30	3	20	60	22	2007	ab			20			1988		UUSIMAA	1,2,3	
51	8	5912	2950	1	0	1	19	1	1	30	3	20	30	22	2007	ab				20			1988		UUSIMAA		
51	9	4386	2193	1	0	1	21	1	1	30	2	20	30	22	2009	ab				20			1988		UUSIMAA		
51	10	6829	3414	1	0	1	18	1	1	30	4	20	30	22	2006	ab				20			1988		UUSIMAA		
51	11	4541	2270	1	0	1	16	1	1	30	4	20	60	20	2005	ea				20			1990		UUSIMAA		
51	12	4270	2135	1	0	1	14	1	1	30	4	18	60	18	2006	ab				18			1992		UUSIMAA		
51	13	6214	3107	1	0	1	14	1	1	30	4	18	60	18	2006	ab				18			1992		UUSIMAA		
51	14	3115	1557	1	0	1	18	0	9	1	30	1	20	60	19	2009	ab				20			1991		UUSIMAA	
51	7	4853	2426	1	0	1	19	0	8	1	30	3	20	60	22	2007					20			1988		UUSIMAA	1,2,3
51	8	5912	2950	1	0	1	19	1	1	30	3	20	30	22	2007					20			1988		UUSIMAA		
51	9	4386	2193	1	0	1	18	1	1	30	4	20	30	22	2006					20			1988		UUSIMAA		
51	10	6829	3414	1	0	1	18	1	1	30	4	20	30	22	2006					20			1988		UUSIMAA		
51	11	4541	2270	1	0	1	16	1	1	30	4	20	60	20	2005	ea				20			1990		UUSIMAA		
51	12	4270	2135	1	0	1	14	1	1	30	4	18	60	18	2006					18			1992		UUSIMAA		
51	13	6214	3107	1	0	0	14	1	1	30	4	18	60	18	2006					18			1992		UUSIMAA		
51	14	3115	1557	1	0	0	15	0	9	1	30	4	20	60	19	2006					20			1991		UUSIMAA	
51	8	5912	2950	1	0	1	1	1	1	30	2	16	30	6	2008			isma	16			2004		UUSIMAA			
51	9	4386	2193	1	0	1	1	1	1	30	2	16	30	6	2008			isma	16			2004		UUSIMAA	3		
51	10	6829	3414	1	0	1	2	1	1	30	4	16	30	6	2006			isma	16			2004		UUSIMAA			
51	11	4541	2270	1	0	1	1	1	1	30	4	16	60	8	2006			isma	16			2002		UUSIMAA			
51	12	4270	2135	1	0	1	1	1	1	30	4	16	60	8	2006			isma	16			2002		UUSIMAA			
51	13	6214	3107	1	0	1	2	1	1	30	4	16	60	6	2006			isma	16			2004		UUSIMAA	1		
51	14	3115	1557	1	0	1	0	0	9	0	30	1	16	60	1	2009			isma	16			2009		UUSIMAA		
51	15	8070	4035	1	0	1	0	0	7	0	30	2	16	60	2	2008			isma	16			2008		UUSIMAA		
51	16	5895	2947	1	0	1	1	3	1	2	30	2	16	60	1	2008			isma	16			2008		UUSIMAA		
50	1	8115	4057	1	0	1	3	1	5	0	20	2	16	60	5	2008			isma	16			2005		UUSIMAA		
56	2	5995	2997	1	0	0	4	1	0	20	2	16	60	6	2008			isma	16			2004		UUSIMAA			
55	1	8115	4057	1	0	1	3	1	5	0	20	2	16	60	5	2008			isma	16			2005		UUSIMAA		
56	2	5995	2997	1	0	0	4	1	0	20	2	16	60	6	2008			isma	16			2004		UUSIMAA			
101	5	2162	1081	1	0	0	1	1	0	20	1	16	60	2	2009			isma	16			2008	Ajorata 1	UUSIMAA			
101	5	2162	1081	1	0	0	4	1	0	20	1	16	60	5	2009			isma	16			2005	Ajorata 2	UUSIMAA			
101	6	2699	1349	1	0	0	4	1	0	20	1	16	60	5	2009			isma	16			2005	Ajorata 1	UUSIMAA			
101	6	2699	1349	1	0	0	4	1	0	20	1	16	60	5	2009			isma	16			2005	Ajorata 2	UUSIMAA			
101	7	5498	2749	2	0	0	2	1	0	20	1	16	60	3	2009			isma	16			2007	Ajorata 1	UUSIMAA	0		
101	7	5498	2749	2	0	0	2	1	0	20	1	16	60	3	2009			isma	16			2007	Ajorata 2	UUSIMAA	0		
101	8	4252	2126	1	0	0	1	1	0	20	1	16	60	2	2009			isma	16			2003	Ajorata 1	UUSIMAA	16		
101	8	4252	2126	1	0	1	1	1	0	20	1	16	60	2	2009			isma	16			2008	Ajorata 2	UUSIMAA			
102	1	2023	1011	1	0	0	5	1	5	0	30	3	16	60	8	2007			isma	16			2002	Ajorata 1	UUSIMAA		
102	1	2023	1011	1	0	0	5	1	5	0	30	3	16	60	8	2007			isma	16			2002	Ajorata 2	UUSIMAA	3,2	
102	2	1866	933	1	0	0	4	1	1	0	30	2	16	60	8	2007			isma	16			2002	Ajorata 1	UUSIMAA		
102	2	1866	933	1	0	0	4	1	1	0	30	2	16	60	8	2007			isma	16			2002	Ajorata 2	UUSIMAA	3,2	
102	3	3183	1591	5	0	1	5	1	1	0	30	3	16	60	8	2007			isma	16			2002		UUSIMAA	3,2	
102	3	3183	1591	5	0	1	5	1	1	0	30	3	16	60	8	2007			isma	16			2002		UUSIMAA	3,2	
110	13	6890	3445	5	1	1	4	0	5	0	30	2	16	60	6	2008			isma	16			2004		UUSIMAA	0	
110	14	5810	2905	3	1	1	4	0	6	0	30	2	16	60	6	2008			isma	16			2004		UUSIMAA	0	
110	15	3367	1683	1	1	1	0	0	6	0	30	1	16	60	1	2009			isma	16			2009		UUSIMAA	0	
110	17	4215	2107	2	1	1	2	0	3	0	30	2	16	60	6	2008			isma	16			2009		UUSIMAA	0	
110	18	5338	2669	1	1	1	8	0	7	0	30	2	16	60	10	2008			isma	16			2008		UUSIMAA	0	
3	110	7303	3651	1	0	1	13	1	2	1	30	4	16	30	17	2006			ab	16			1993	Ajorata 1	HAME		
3	110	7303	3651	1	0	1	13	1	2	1	30	4	16	30	17	2006			ab	16			1993	Ajorata 2	HAME	0	
3	110	7303	3651	1	0	1	13	1	2	1	30	4	16	30	17	2006			ab	16			1993	Ajorata 1	HAME	0	
3	111	3532	1766	1	0	0	13	1	2	1	30	4	16	30	17	2006			ab	16			1993	Ajorata 2	HAME	0	
3	111	3532	1766	1	0	0	13	1	2	1	30	4	16	30	17	2006			ab	16			1993	Ajorata 1	HAME	0	
3	112	9005	4502	1	0	1	12	1	2	0	30	4	16	30	11	2006			isma	16			1999	Ajorata 2	HAME	0	
3	112	9005	4502	1	0	1	7	1	2	0	30	4	16	30	11	2006			isma	16			1999	Ajorata 1	HAME	0	
3	113	4857	2428	1	0	1	7	1	1	0	30	4	16	30	11	2006			isma	16			1999	Ajorata 1	HAME		
3	113	4857	2428	1	0	0	7	1	3	0	30	4	16	30	11	2006			isma	16			1999	Ajorata 2	HAME		
3	114	7495	3747	1	0	1	7	1	4	0	30	4	16	30	11	2006			isma	16			1999	Ajorata 1	HAME		
3	114	7495	3747	1	0</																						

Liite 5 Jyrsintämerkintöjen kuntoarviointidata

12	221	6453	3226 S	1	0	1	0	0	9	0	20	1	11	60			1	2009			isma	16	11		2009			HAME	
12	227	10450	5225 S	1	1	1	1	4	0	8	1	30	2	16	60			6	2008		ab	16		2004			HAME		
54	6	7710	5500 v	1	0	1	1	0	0	0	1	20	2	16	60			1	2008		ab	16		2008			HAME		
54	6	5446	200 v	1	1	1	1	0	0	8	1	20	2	16	60			2	2008		ab	16		2008			HAME		
54	6	7710	5500 v	1	0	0	0	0	0	9	1	20	2	16	60			2	2008		ab	16		2008			HAME		
54	6	5446	200 v	1	1	1	1	0	0	1	1	20	2	16	60			2	2008		ab	16		2008			HAME		
54	6	7710	5500 v	1	0	0	0	0	0	7	1	20	2	16	60			2	2008		ab	16		2008			HAME		
54	6	5446	200 v	1	0	0	0	0	1	2	1	20	2	16	60			2	2008		ab	16		2008			HAME		
54	12	6422	3211 v	1	0	0	1	13	0	8	1	20	3	16	60			1	2007		isma	16		2007			HAME		
54	13	6618	3309 v	1	0	1	1	13	1	1	20	3	16	60			16	2007		ab	16		1994			HAME			
54	14	4880	2440 v	1	0	0	1	1	1	1	20	3	16	60			4	2007		ab	16		2006			HAME			
54	15	6460	3230 v	1	0	0	0	12	1	2	0	20	3	16	60			15	2007		isma	16		1995			HAME		
54	16	6495	3247 S	1	0	0	0	12	1	2	0	20	3	16	60			15	2007		isma	16		1995			HAME		
54	17	7218	3609 v	4	0	0	0	12	1	4	0	20	3	16	60			15	2007		isma	16		1995			HAME		
54	18	4354	2177 v	1	0	0	0	12	1	2	0	20	3	16	60			15	2007		isma	16		1995			HAME		
54	11	4290	2145 v	1	0	1	1	12	1	1	20	3	16	60			15	2007		ab	16		1995			HAME			
54	12	6422	3211 v	1	0	0	0	4	1	1	20	3	16	60			7	2007		ab	16		2003			HAME			
54	13	6618	3309 v	1	0	0	0	4	0	8	1	20	3	16	60			7	2007		ab	16		2003			HAME		
54	14	4880	2440 v	1	0	0	0	1	1	1	20	3	16	60			4	2007		ab	16		2006			HAME			
54	15	6460	3230 v	1	0	0	0	12	1	2	0	20	3	16	60			15	2007		isma	16		1995			HAME		
54	16	6495	3247 S	1	0	0	0	12	1	2	0	20	3	16	60			15	2007		isma	16		1995			HAME		
54	17	7218	3609 v	4	0	0	0	12	1	4	0	20	3	16	60			15	2007		isma	16		1995			HAME		
54	18	4354	2177 v	1	0	0	0	12	1	2	0	20	3	16	60			15	2007		isma	16		1995			HAME		
54	11	4290	2145 v	1	0	1	1	12	1	1	20	3	16	60			15	2007		ab	16		1995			HAME			
54	12	6422	3211 v	1	0	0	0	4	1	1	20	3	16	60			7	2007		ab	16		2003			HAME			
54	13	6618	3309 v	1	0	0	0	4	0	8	1	20	3	16	60			7	2007		ab	16		2003			HAME		
54	14	4880	2440 v	1	0	0	0	1	1	1	20	3	16	60			4	2007		ab	16		2006			HAME			
54	15	6460	3230 v	1	0	0	0	12	1	2	0	20	3	16	60			15	2007		isma	16		1995			HAME		
54	16	6495	3247 S	3	0	1	1	17	1	1	20	3	20	60			20	2007		ab	20		1990			HAME			
54	17	7218	3609 v	1	0	0	0	12	1	2	0	20	3	16	60			15	2007		isma	16		1995			HAME		
54	18	4354	2177 v	3	0	0	0	12	1	1	0	20	3	16	60			15	2007		isma	16		1995			HAME		
57	1	6825	3412 S	1	0	0	0	1	1	1	20	1	1	60			1	2009		ab	16		2009			HAME			
57	2	6073	3036 S	1	0	0	0	4	0	7	1	20	3	16	60			7	2007		ab	16		2003			HAME		
57	3	7636	3818 v	3	0	1	1	16	0	8	1	20	3	16	60			19	2007		ab	16		1991			HAME		
57	2	6073	3036 S	1	0	0	0	4	0	7	1	20	3	16	60			10	2007		ab	16		2003			HAME		
57	3	7636	3818 v	1	0	0	0	7	0	8	1	20	3	16	60			10	2007		ab	16		2003			HAME		
5	116	10103	5051 S	1	1	1	0	1	0	1	0	30	1	16	60			1	2009		isma	16		2009			Kaakkoisuus		
5	117	7379	3689 S	1	1	1	0	1	1	1	30	1	16	60			1	2009		ab	16		2009			Kaakkoisuus			
5	119	7968	1180 v	1	1	1	0	1	0	1	30	1	16	60			1	2009		ab	16		2009			Kaakkoisuus			
5	120	7941	2000 v	1	1	1	0	0	9	1	30	1	16	60			1	2009		ab	16		2009			Kaakkoisuus			
5	121	4326	3500 v	2	1	1	1	7	1	0	30	1	16	60			8	2009		isma	16		2002			Kaakkoisuus			
5	122	5738	4000 v	1	1	1	1	2	0	7	0	30	1	16	60			3	2009		isma	16		2007			Kaakkoisuus		
5	125	3904	2600 v	1	1	1	0	1	0	8	1	30	1	16	60			1	2009		isma	16		2007			Kaakkoisuus		
5	127	6075	1000 v	1	1	1	1	4	1	0	30	1	16	60			5	2009		isma	16		2005			Kaakkoisuus			
5	131	3774	1887 v	1	1	1	0	1	1	0	30	2	16	60			2	2008		isma	16		2008			Kaakkoisuus			
5	132	6539	3269 S	1	1	1	0	1	1	0	30	2	16	60			2	2008		isma	16		2008			Kaakkoisuus			
5	133	6980	3450 v	1	1	1	0	9	1	0	30	2	16	60			1	2008		isma	16		2008			Kaakkoisuus			
5	134	8570	4285 v	1	1	1	1	2	1	0	30	3	16	60			5	2007		isma	16		2005			Kaakkoisuus			
5	135	3911	1955 S	1	1	1	1	0	1	2	1	30	1	16	60			1	2009		ab	16		2009			Kaakkoisuus		
5	136	2923	1461 S	1	1	1	0	1	0	9	1	30	1	16	60			1	2009		ab	16		2009			Kaakkoisuus		
5	137	2531	1265 S	1	1	1	1	1	0	9	0	30	2	16	60			3	2008		isma	16		2007			Kaakkoisuus		
5	138	3469	1734 S	1	1	1	1	0	0	8	0	30	2	16	60			3	2008		isma	16		2007			Kaakkoisuus		
5	139	8600	4300 v	1	1	1	1	1	1	0	30	2	16	60			3	2008		isma	16		2007			Kaakkoisuus			
5	140	5968	2934 v	1	1	1	0	1	0	8	1	30	2	16	60			2	2008		isma	16		2007			Kaakkoisuus		
5	141	5995	2997 S	1	1	1	1	2	0	5	0	30	2	16	60			4	2008		isma	16		2006			Kaakkoisuus		
5	142	4829	2414 S	1	1	1	1	2	0	9	0	30	2	16	60			4	2008		isma	16		2006			Kaakkoisuus		
6	125	6244	3122 v	1	0	0	0	3	1	5	0	20	3	16	60			6	2007		isma	16		2004			Kaakkoisuus		
6	126	5171	2585 S	1	0	0	0	3	1	5	0	20	3	16	60			6	2007		isma	16		2004			Kaakkoisuus		
6	127	6882	3441 v	1	0	0	0	3	1	3	0	20	3	16	60			6	2007		isma	16		2004			Kaakkoisuus		
6	203	6580	3290 v	2	1	1	1	0	0	6	1	30	1	16	60			8	2008		ab	16		2009			Kaakkoisuus		
6	204	6373	3186 S	1	0	0	0	6	1	2	0	20	2	16	60			8	2008		isma	16		2002			Kaakkoisuus		
6	205	3601	1800 S	1	0	0	0	9	1	1	20	2	20	60			11	2008		isma	20		1999			Kaakkoisuus			
6	206	8500	4250 v	1	0	0	0	9	1	2	0	20	2	20	60			11	2008		isma	20		1999			Kaakkoisuus		
6	207	5244	2622 v	1	0	0	0	3	1	2	0	20	2	16	60			5	2008		isma	16		2005			Kaakkoisuus		
6	208	7704	3852 v	1	0	0	0	7	0	8	0	20	2	16	60			9	2008		isma	16		2001			Kaakkoisuus		
6	209	6737	3186 S	1	0	0	0	9	1	1	20	2	20	60			11	2008		isma	20		1999			Kaakkoisuus			
6	205	3601	1800 S	1	0	0	0	9	1	1	20	2	20	60			11	2008		isma	20		1999						

Liite 6 Yhdistelmämerkintäkokeilun mittaustulokset (paluuheijastuvuus)

Kohde	Piste	Merkintä	kohta	Kuiva	Märkä	Sivukaltevuus	Muuta huomioitavaa
1	1	Sini	harja	282	1	merkintään päin	
	2	Sini	harja	309	1	merkintään päin	
2	3	Sini	harja	309	24	merkintään päin	
	4	Sini	harja	306	17	merkintään päin	
	5	Sini	harja	308	31	merkintään päin	
	6	Sini	harja	295	14	merkintään päin	
	7	Sini	pohja	280	1	merkintään päin	
	8	Sini	pohja	303	1	merkintään päin	
	9	Sini	harja	278	76	pois merkinnästä	
	10	Sini	harja	237	53	pois merkinnästä	
3	11	Sini	harja	265	41	pois merkinnästä	
	12	Sini	harja	229	39	pois merkinnästä	
	13	Sini	harja	162	35	pois merkinnästä	
	14	Sini	harja	213	66	pois merkinnästä	
	15	Sini	pohja	207	36	pois merkinnästä	
	16	Sini	pohja	199	49	pois merkinnästä	
1	17	Norm.	pinta	232	2		
	18	Norm.	pinta	212	21		
4	19	Norm.	pinta	277	42		b-pysäkki
	20	Norm.	pinta	209	21		b-pysäkki
	21	Norm.	pinta	269	38		b-pysäkki
	22	Norm.	pinta	229	19		b-pysäkki
	23	Norm.	pinta	287	25		b-pysäkki
	24	Norm.	pinta	247	20		b-pysäkki
5	25	Drop	pinta	226	136		b-pysäkki
	26	Drop	pinta	261	123		b-pysäkki
	27	Drop	pinta	242	139		b-pysäkki
	28	Drop	pinta	231	126		b-pysäkki
	29	Drop	pinta	286	132		b-pysäkki
	30	Drop	pinta	246	118		b-pysäkki
6	31	S+Drop	harja	279	34	merkintään päin	
	32	S+Drop	harja	296	57	merkintään päin	
	33	S+Drop	harja	292	43	merkintään päin	
	34	S+Drop	harja	287	54	merkintään päin	
	35	S+Drop	harja	326	54	merkintään päin	
	36	S+Drop	pohja	336	2	merkintään päin	
	37	S+Drop	pohja	307	1	merkintään päin	
7	38	S+Drop	harja	245	132	pois merkinnästä	
	39	S+Drop	harja	255	160	pois merkinnästä	
	40	S+Drop	harja	239	145	pois merkinnästä	
	41	S+Drop	harja	240	149	pois merkinnästä	
	42	S+Drop	harja	251	149	pois merkinnästä	
	43	S+Drop	harja	252	146	pois merkinnästä	
	44	S+Drop	pohja	269	105	pois merkinnästä	
	45	S+Drop	pohja	247	108	pois merkinnästä	

Liite 6 Yhdistelmämerkintäkokeilun mittauksiloket (Ohiajomelu Vt 9)

Mittaus	klo	Auto	Tyyppi	nopeus	dB	Merkintä
1	19:02	Mondeo	ei	70	82.98	Normaali
2	19:03	Scania	Paällyste	70	83.34	Normaali
3				70		Normaali
4				70		Normaali
5	19:09	Mondeo	paällyste	70	75.43	Normaali
6	19:12	Scania	paällyste	70	81.55	Normaali
7	19:17	Scania	keskiviiva	70	82.75	Normaali
8	19:20	Mondeo	sini	70	76.66	Normaali
9	19:22	Scania	sini	70	81.3	Normaali
10	19:25	Mondeo	keskiviiva	70	76.35	Normaali
11	19:27	Scania	keskiviiva	70	83.34	Normaali
12	19:29	Mondeo	sini	70	74.48	Normaali
13	19:31	Scania	sini	70	84.69	Normaali
14	19:34	Mondeo	keskiviiva	70	83.47	Normaali
15	19:38	Mondeo	sini	80	76.36	Normaali
16	19:40	Scania	Paällyste	80	82.21	Normaali
17	19:53	Mondeo	keskiviiva	80	77.96	Normaali
18	19:57	Scania	keskiviiva	80	84.43	Normaali
19	19:59	Mondeo	sini	80	77.32	Normaali
20	20:02	Scania	sini	80	82.5	Normaali
21	20:05	Mondeo	keskiviiva	80	76.86	Normaali
22	20:06	Scania	keskiviiva	80	84.06	Normaali
23	20:08	Mondeo	sini	80	78.49	Normaali
24	20:10	Scania	sini	80	82.38	Normaali
25	20:14	Mondeo	keskiviiva	80	76.31	Normaali
26	20:18	Scania	keskiviiva	80	84.87	Normaali
27	20:25	Mondeo	Paällyste	70	74.65	Normaali
28	20:27	Scania	sini	80	83.04	Normaali
29	20:30	Mondeo	keskiviiva	70	76.26	Normaali
30	20:33	Scania	keskiviiva	80	83.18	Normaali
31	20:35	Mondeo	Paällyste	80	76.74	Normaali
32	20:38	Scania	sini	70	81.27	Normaali
33	20:45	Scania	keskiviiva	70	81.36	Normaali
34	20:47	Mondeo	Paällyste	80	76.53	Normaali
35	20:50	Scania	sini	70	80.81	Normaali
36	21:03	Mondeo	sini	70	78.71	Normaali
37	21:09	Mondeo	sini	70	76.54	Normaali
38	21:44	Mondeo	Paällyste	70	77.71	Drop-on line
39	21:45	Scania	Paällyste	70	83.83	Drop-on line
40	21:52	Scania	keskiviiva	70	81.43	Drop-on line
41	21:55	Mondeo	sini	70	75.94	Drop-on line
42	21:57	Scania	sini	70	82.54	Drop-on line
43	22:01	Mondeo	keskiviiva	70	76.88	Drop-on line
44	22:03	Scania	keskiviiva	70	81.69	Drop-on line
45	22:06	Mondeo	sini	70	78.44	Drop-on line
46	22:10	Scania	sini	70	83.17	Drop-on line
47	22:14	Mondeo	keskiviiva	70	77.3	Drop-on line
48	22:17	Scania	keskiviiva	70	81.81	Drop-on line
49	22:19	Mondeo	sini	70	75.99	Drop-on line
50	22:22	Scania	sini	70	83.82	Drop-on line
51	22:27	Mondeo	keskiviiva	70	84.81	Drop-on line
52	22:29	Scania	keskiviiva	70	82.83	Drop-on line
53	22:32	Mondeo	Paällyste	80	78.41	Drop-on line
54	22:34	Scania	Paällyste	80	84.52	Drop-on line
55	22:38	Mondeo	keskiviiva	80	81.82	Drop-on line
56	22:40	Scania	keskiviiva	80	85.89	Drop-on line
57	22:43	Mondeo	sini	80	81.48	Drop-on line
58	22:45	Scania	sini	80	84.16	Drop-on line
59	22:50	Mondeo	keskiviiva	80	79	Drop-on line
60	22:52	Scania	keskiviiva	80	85.7	Drop-on line
61	22:59	Mondeo	sini	80	80.34	Drop-on line
62	23:01	Scania	sini	80	84.9	Drop-on line
63	23:06	Mondeo	keskiviiva	80	77.2	Drop-on line
64	23:11	Mondeo	sini	80	78.55	Drop-on line
65	23:19	Scania	keskiviiva	80	85.1	Drop-on line
66	23:23	Scania	sini	80	84.22	Drop-on line
67	23:28	Scania	Paällyste	70	81.43	Drop-on line
68	23:31	Scania	Paällyste	80	84	Drop-on line
Mittaus 2	klo	Auto	Tyyppi	nopeus	dB	Merkintä
1	18:24	Mondeo	paällyste 90	89	79.35	Drop-on line
2	18:31	Mondeo	paällyste 90	89	79.32	Drop-on line
3	18:34	Mondeo	keskiviiva	89	79.89	Drop-on line
4	18:45	Mondeo	Sini	91	82.46	Drop-on line
5	18:52	Mondeo	sini	91	80.69	Drop-on line
6	18:54	Mondeo	keskiviiva	91	80.02	Drop-on line
7	19:02	Mondeo	sini	95	83.33	Drop-on line
8	19:06	Mondeo	keskiviiva	89	79.21	Drop-on line
9	19:08	Mondeo	sini	90	81.11	Drop-on line
10	19:18	Mondeo	paällyste 100	102	80.18	Drop-on line
11	19:24	Mondeo	sini	98	83.1	Drop-on line
12	19:28	Mondeo	keskiviiva	101	80.79	Drop-on line
13	19:32	Mondeo	sini	100	80.64	Drop-on line
14	19:36	Mondeo	keskiviiva	90	80.72	Drop-on line
15	19:38	Mondeo	sini	102	78.96	Drop-on line
16	19:42	Mondeo	keskiviiva	102	81.25	Drop-on line
17	19:49	Mondeo	keskiviiva	99	80.24	Drop-on line
18	19:53	Mondeo	Paällyste	92	79.69	Drop-on line
19	19:56	Mondeo	keskiviiva	100	81.91	Drop-on line
20	20:47	Mondeo	Paällyste	90	79.59	Normaali
21	20:49	Mondeo	keskiviiva	90	77.74	Normaali
22	20:58	Mondeo	Paällyste	90	80.71	Normaali
23	21:02	Mondeo	sini	90	78.07	Normaali
24	21:05	Mondeo	keskiviiva	91	81.6	Normaali
25	21:30	Mondeo	sini	90	78.92	Normaali
26	21:32	Mondeo	keskiviiva	87	78.17	Normaali
27	21:33	Mondeo	sini	90	78.83	Normaali
28	21:36	Mondeo	keskiviiva	90	80.04	Normaali
29	21:38	Mondeo	paällyste	100	80.38	Normaali
30	21:43	Mondeo	sini	100 (90?)	79.83	Normaali
31	21:47	Mondeo	sini	100	82	Normaali
32	21:52	Mondeo	keskiviiva	101	82.1	Normaali
33	21:55	Mondeo	sini	99	81.77	Normaali
34	21:57	Mondeo	keskiviiva	100	81.93	Normaali
35	21:59	Mondeo	paällyste	91	78.15	Normaali
36	22:02	Mondeo	keskiviiva	99	81.59	Normaali
37	22:09	Mondeo	paällyste	70	75.86	Normaali
38	22:11	Mondeo	keskiviiva	71	76.55	Normaali
39	22:14	Mondeo	paällyste	80	77.19	Normaali
40	22:16	Mondeo	keskiviiva	71	75.96	Normaali
41	22:18	Mondeo	sini	80	78.7	Normaali
42	22:24	Mondeo	sini	81	77.43	Normaali

Liite 6 Yhdistelmämerkintäkokeilun mittaustulokset (Ohiajomelu Vt 24)

Mittaus 3	klo	Auto	Tyyppi	Nopeus	dB	Merkintä
24	12:49	Mondeo	Sini	57	70.37	Normaali
18	12:40	Mondeo	Sini	57	70.64	Normaali
25	12:51	Mondeo	Keskiviiva	59	75.33	Normaali
42	13:32	Mondeo	Päällyste	59	72.99	Normaali
26	12:52	Mondeo	Sini	59	72.7	Normaali
21	12:46	Mondeo	Keskiviiva	60	74.22	Normaali
16	12:38	Mondeo	Keskiviiva	60	74.94	Normaali
23	12:48	Mondeo	Keskiviiva	60	76.54	Normaali
45	13:37	Mondeo	Päällyste	60	72.25	Normaali
44	13:36	Mondeo	Päällyste	60	73.19	Normaali
22	12:47	Mondeo	Sini	60	70.92	Normaali
20	12:44	Mondeo	Sini	60	72.22	Normaali
19	12:43	Mondeo	Keskiviiva	61	74.38	Normaali
43	13:34	Mondeo	Päällyste	61	72.66	Normaali
12	12:29	Mondeo	Sini	66	73.98	Normaali
6	12:19	Mondeo	Keskiviiva	67	76.81	Normaali
35	13:20	Mondeo	Päällyste	69	74.54	Normaali
10	12:25	Mondeo	Keskiviiva	70	76.11	Normaali
34	13:18	Mondeo	Päällyste	70	73.88	Normaali
37	13:23	Mondeo	Päällyste	70	74.41	Normaali
36	13:22	Mondeo	Päällyste	70	75.22	Normaali
9	12:23	Mondeo	Sini	70	72.99	Normaali
15	12:35	Mondeo	Sini	70	74.70	Normaali
17	12:38	Mondeo	Sini	70	75.02	Normaali
1	12:10	Mondeo	Sini	70	75.18	Normaali
14	12:33	Mondeo	Keskiviiva	71	76.79	Normaali
13	12:31	Mondeo	Keskiviiva	71	76.98	Normaali
11	12:27	Mondeo	Keskiviiva	71	78.34	Normaali
8	12:22	Mondeo	Keskiviiva	71	78.72	Normaali
5	12:17	Mondeo	Sini	71	73.51	Normaali
3	12:15	Mondeo	Sini	72	76.4	Normaali
2	12:12	Mondeo	Sini	72	76.5	Normaali
4	12:16	Mondeo	Keskiviiva	74	74.92	Normaali
39	13:25	Mondeo	Päällyste	79	75.57	Normaali
31	13:09	Mondeo	Keskiviiva	80	79.59	Normaali
27	13:02	Mondeo	Keskiviiva	80	79.83	Normaali
29	13:06	Mondeo	Keskiviiva	80	80.02	Normaali
41	13:31	Mondeo	Päällyste	80	76.43	Normaali
40	13:28	Mondeo	Päällyste	80	76.64	Normaali
28	13:03	Mondeo	Sini	80	78.32	Normaali
30	13:07	Mondeo	Sini	80	78.74	Normaali
38	13:24	Mondeo	Päällyste	81	77.04	Normaali
32	13:10	Mondeo	Sini	82	78.67	Normaali
33	13:12	Mondeo	Sini	82	79	Normaali
7	12:21	Mondeo	Sini	-	71.98	Normaali

Liite 6 Yhdistelmämerkintäkokeilun mittaustulokset (Sisämelu Vt 9)

Kohta	Merkintä	Nopeus km/h	Sisämelu (dB)	
Tien pinta	Sileä	70	67.1	67.6
Tasaväli	Sileä	70	73.6	72.9
Siniaalto	Drop-On Line	70	70.8	71.6
Siniaalto	Sileä	70	71.1	70.8
Tien pinta	Sileä	80	68.6	68.2
Tasaväli	Sileä	80	74.5	74.6
Siniaalto	Drop-On Line	80	71.7	72.6
Siniaalto	Sileä	80	72.7	72.5
Tien pinta	Sileä	90	69.9	70.5
Tasaväli	Sileä	90	77.1	76.1
Siniaalto	Drop-On Line	90	74.6	74.5
Siniaalto	Sileä	90	74.1	74.3
Tien pinta	Sileä	100	72.6	72.9
Tasaväli	Sileä	100	83.1	82.8
Siniaalto	Drop-On Line	100	76.2	75.8
Siniaalto	Sileä	100	76.3	76

Liite 6 Yhdistelmämerkintäkoikeilun tärinätulokset (Vt 9)

Tärinä korissa				Tärinä kojetaulussa			
kohde	nopeus km/h	RMS mm/s keskiarvo	Erotus pinnasta	kohde	nopeus km/h	RMS mm/s keskiarvo	Erotus pinnasta
Päällyste	70	0.055		Päällyste	70	0.048	
Sinijyrs.	70	0.193	0.138	Sinijyrs.	70	0.219	0.17
Sini+DropOnLine	70	0.180	0.125	Sini+DropOnLine	70	0.218	0.17
Tasaväli jyrs.	70	0.105	0.051	Tasaväli jyrs.	70	0.109	0.06
Päällyste	80	0.066		Päällyste	80	0.054	
Sinijyrs.	80	0.190	0.124	Sinijyrs.	80	0.184	0.13
Sini+DropOnLine	80	0.185	0.118	Sini+DropOnLine	80	0.148	0.09
Tasaväli jyrs.	80	0.180	0.113	Tasaväli jyrs.	80	0.170	0.12
Päällyste	90	0.074		Päällyste	90	0.051	
Sinijyrs.	90	0.187	0.113	Sinijyrs.	90	0.126	0.08
Sini+DropOnLine	90	0.193	0.119	Sini+DropOnLine	90	0.155	0.10
Tasaväli jyrs.	90	0.114	0.040	Tasaväli jyrs.	90	0.111	0.06
Päällyste	100	0.082		Päällyste	100	0.054	
Sinijyrs.	100	0.208	0.126	Sinijyrs.	100	0.142	0.09
Sini+DropOnLine	100	0.200	0.118	Sini+DropOnLine	100	0.137	0.08
Tasaväli jyrs.	100	0.155	0.074	Tasaväli jyrs.	100	0.106	0.05